

Электротехническое и
конструкционное
материаловедение
Часть 1. Конструкционное
материаловедение

Лектор

Яковенко Светлана Равилевна

Кафедра Техники высоких напряжений

Ауд. Э - 312

Литература

- Колесов, С.Н. Материаловедение технология конструкционных материалов : Учеб. для вузов / С.Н. Колесов, И. С. Колесов. — М. : Высш. шк., 2004. — 519 с. : ил.
- Г.П. Фетисов и др. Материаловедение и технология металлов. – М. Высшая школа . 2001.
- Материаловедение. Учебник для вузов. под ред. Б.Н. Арзамасова – Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.
- Богородицкий, Н.П., Пасынков, В.В., Тареев, В.М.. Электротехнические материалы. Изд.7. Л. : Энергоатомиздат, 1985. — 352 с. : ил.
- Воинов, В.Н., Рудный, В.В. Руководство к лабораторным работам по курсу “Электротехнические материалы”. Екатеринбург, издание УПИ, . Часть 1, 32 с. : ил.; часть 2, 32 с. : ил.
- Штофа Ян Электротехнические материалы в вопросах и ответах. М.: Энергоатомиздат, 1984. 255 с.с ил.4. Электротехнический справочник. / Под ред. Ю.В.Корицкого и др. М.: Энергоатомиздат.1986. 584 с.с ил.
- Техника высоких напряжений. / Под ред. Л.В. Разевига. М.: Госэнергоатом-издат.1976. 488 с.с ил.
- Базуткин В. В., Ларионов В. П., Пинталь Ю. С. Техника высоких напряжений. Изоляция и перенапряжения в электрических системах. Учебник для вузов. / Под ред. В. П. Ларионова. – 3-е изд.; переработанное и дополненное. М.: Энергоатомиздат,1986. 368 с.с ил.
- Техника высоких напряжений: теоретические и практические основы применения. / Пер.с нем.М. Бейер, В. Бек, К. Меллер, В. Цаенгель; Под ред. В. П. Ларионова. М.: Энергоатомиздат, 1989. 555 с.с ил.

Введение

Материалы, применяемые в электротехнике можно подразделить на две группы:

1. Конструкционные (КМ)

Конструкционные материалы – материалы, применяемые для несущих конструкций и вспомогательных узлов и деталей.

2. Электротехнические (ЭТМ)

ЭТМ – материалы для применения в технике с использованием их определенных свойств по отношению к электромагнитному полю



Классификация материалов

I. Конструкционные материалы

1. Металлы и их сплавы
 - 1) Технические металлы
 - a) Черные металлы: сталь и чугун (85%)
 - b) Цветные металлы: медь, алюминий, магний, никель, свинец, цинк, олово и их сплавы (15%)
 - 1) Редкие металлы: ртуть, натрий, магний, серебро, золото, платина, кобальт, хром, молибден, тантал, вольфрам и др.
3. Композиционные материалы
4. Неметаллические соединения
 - 1) Полимеры
 - 2) Пластмассы

II. Электротехнические материалы

(по поведению в электрическом поле)

1. Диэлектрики – основное свойство диэлектриков – способность к поляризации. В диэлектриках возможно существование электростатических полей.
2. Полупроводники – отличительное свойство – сильная зависимость проводимости от концентрации и вида примесей, а также от внешних энергетических воздействий.
3. Проводники – основное электрическое свойство – сильно выраженная проводимость

ОСНОВЫ СТРОЕНИЯ И СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

Основные свойства материалов

1. физические

- магнитные
- электрические
- тепловые: теплопроводность- теплоёмкость, температура плавления, кипения
- плотность и д. р.

2. химические

характеризует специфику межатомного воздействия материалов с другими материалами и окружающей средой (коррозия).

3. механические

- прочность
- твёрдость
- пластичность
- вязкость

4. технологические свойства

- литейные свойства
- ковкость
- свариваемость
- обрабатываемость

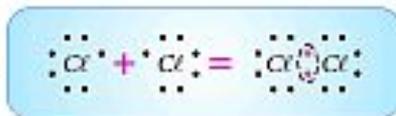
5. специальные

- жаропрочность
- жаростойкость
- сопротивляемость коррозии
- износостойкость

Физико-химические свойства

Строение внешних электронных оболочек атомов определяет виды связей в молекулах. Вид химической связи определяется степенью электроотрицательности элементов. Виды связей определяют физические и химические свойства вещества.

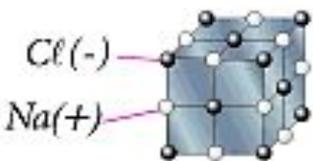
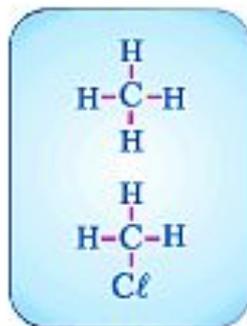
I Ковалентная (химическая связь).
Молекулы образуются из атомов за счет объединения их внешних валентных электронов.



Молекулы могут быть:

1. Нейтральными
(O_2 , N_2 , Cl_2 , CH_4)

2. Полярными
(CH_3Cl)



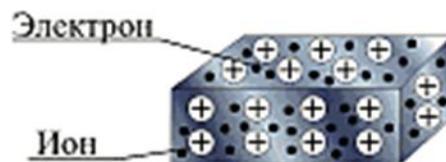
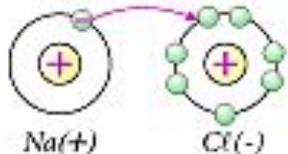
II Ионная связь

Вещества имеют кристаллическую решётку ($NaCl$)

Вещества с ионной связью бывают:

1) с плотной упаковкой ионов ($NaCl$)

2) с неплотной упаковкой ($CaCl$)



III Металлическая (химическая) связь.

Между узлами с ионами находятся свободные (коллективизированные) электроны (это металлы и их сплавы).



IV Молекулярная связь

(связь Ван-дер-Ваальса)
Вещества состоят из отдельных молекул и связаны слабыми молекулярными силами.

(графит, парафин, мышьяк, фосфор, H_2 , N_2)



Строение и свойства материалов

Агрегатное состояние вещества зависит от соотношения энергии теплового хаотического движения и энергии взаимодействия молекул



стальной выключатель

I Газообразное

Воздух, азот, элегаз и т.д.

II Жидкое

Нефтяные масла, кремнийорганические жидкости и т.д.



маслонаполненный кабель

- I. Газообразное состояние $W_T \gg W_B$
- II. Жидкость - $W_T \approx W_B$
- III. Твердые - $W_T \ll W_B$
 - кристаллическое строение
 - аморфное строение
 - полимерные молекулы



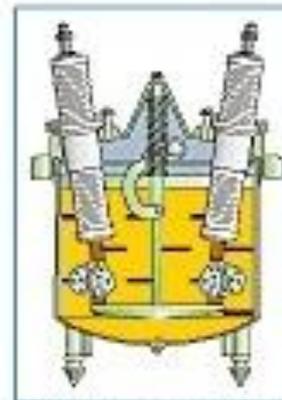
керамический изолятор

III Твёрдое

Проводники, органические диэлектрики и др.

IV Плазма

Равновесное состояние свободных электронов и ионов.



газообразный выключатель

4 агрегатных состояния вещества

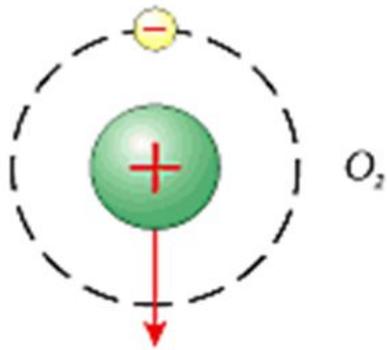
I Газы

Энергия связи меньше энергии теплового хаотического движения

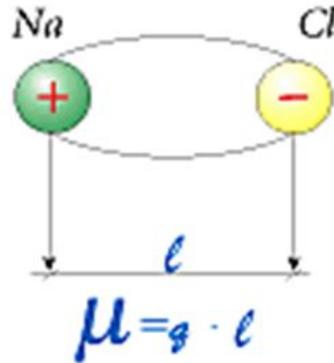
Молекулы газа могут быть:

1) нейтральными

2) полярными или дипольными



O₂



II Жидкости



батарея

Энергия связи равна энергии теплового хаотического движения

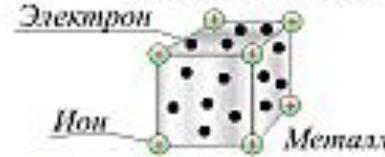
1. Диэлектрики состоят из нейтральных и слабополярных молекул.

2. Проводники состоят из растворов или расплавов ионных соединений.

III Твёрдое тело

Энергия связи больше энергии теплового хаотического движения

По структуре твёрдые тела бывают:



1. Кристаллические
Большинство твёрдых тел имеют кристаллическую решётку.



стекло

2. Аморфные
Эти тела изотропны.



фарфор

3. Смешанные
Они имеют две фазы:
а) стекловидную и
б) кристаллическую.

Твёрдые вещества имеют две структуры



1. Монокристаллическую -
единый целый кристалл (NaCl)



Микроструктура электрометаллической стали.

2. Полукристаллическую -
плотные группы мелких беспорядочно сросшихся кристаллов (металлы и их сплавы).

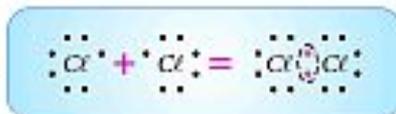
IV. Плазма - полностью ионизированный газ

Физико-химические свойства

Определяются в том числе видами химических связей в веществе

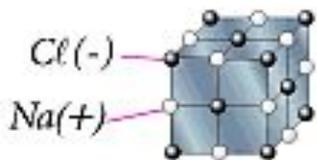
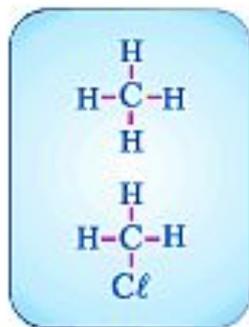
Строение внешних электронных оболочек атомов определяет виды связей в молекулах

I Ковалентная (химическая связь). Молекулы образуются из атомов за счет объединения их внешних валентных электронов.



Молекулы могут быть:
1. Нейтральными ($\text{O}_2, \text{N}_2, \text{Cl}_2, \text{CH}_4$)

2. Полярными (CH_3Cl)



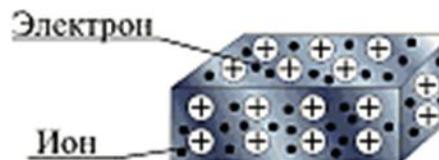
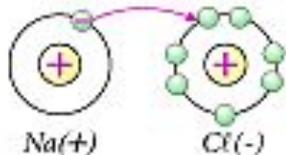
II Ионная связь

Вещества имеют кристаллическую решётку (NaCl)

Вещества с ионной связью бывают:

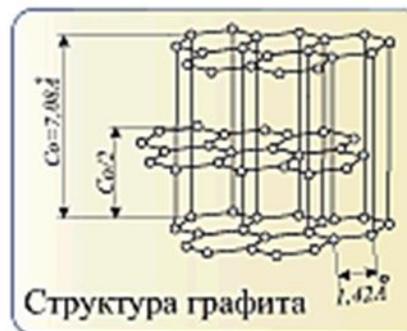
1) с плотной упаковкой ионов (NaCl)

2) с неплотной упаковкой (CaF_2)



III Металлическая (химическая) связь.

Между узлами с ионами находятся свободные (коллективизированные) электроны (это металлы и их сплавы).



IV Молекулярная связь

(связь Ван-дер-Ваальса) Вещества состоят из отдельных молекул и связаны слабыми молекулярными силами.

(графит, парафин, мышьяк, фосфор, H_2 , N_2)



Электролизатор Н-1066В



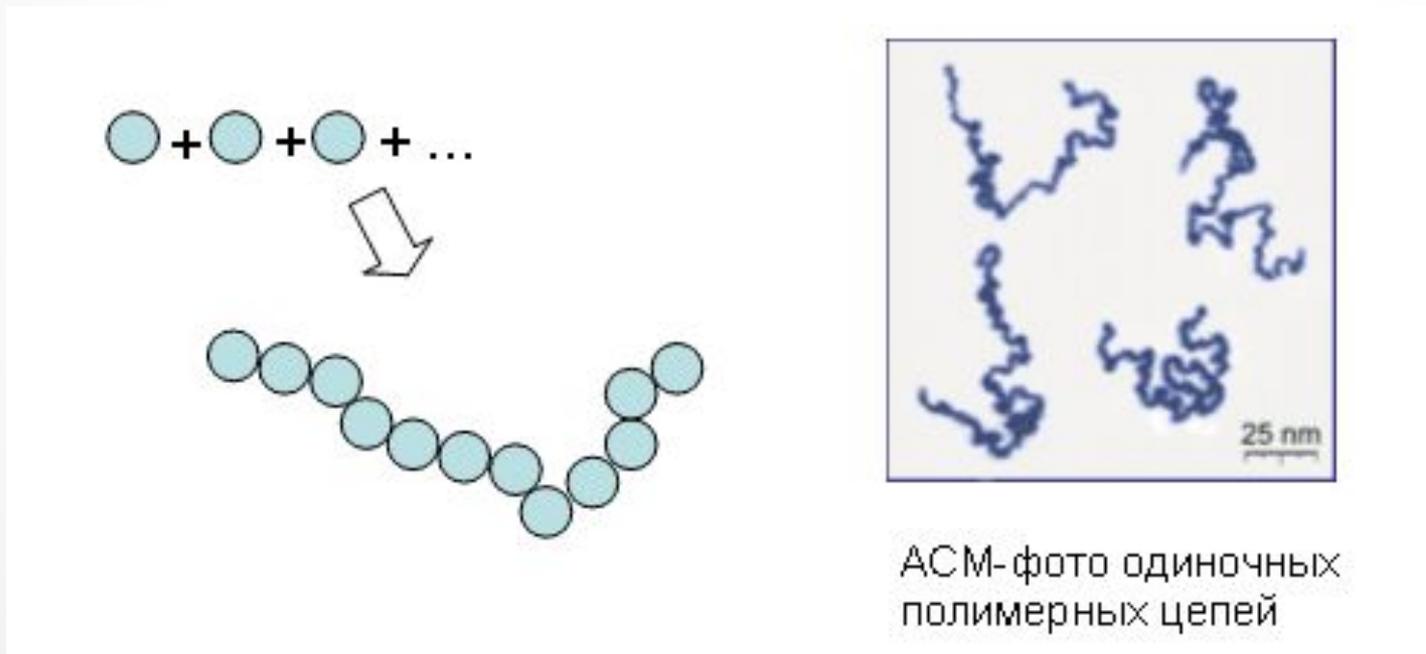
Щётка графитовая

Твердое состояние

- **Кристаллическое тело** – наблюдается ближний и дальний порядок расположения частиц
- **Аморфное тело** – только ближний порядок
- **Полимеры** – особая структура с большой протяженностью молекул, асимметричностью, цепным строением и гибкостью

Полимеры

- Полимеры – это соединения, получаемые путем многократного повторения различных групп атомов, называемых «мономерами», соединенных в длинные макромолекулы химическими или координационными связями



АСМ-фото одиночных полимерных цепей

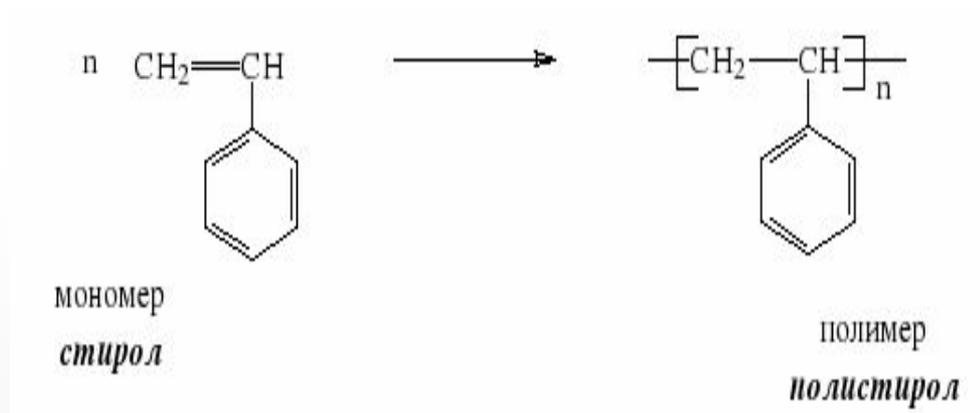
Молекулы полимеров состоят из звеньев с количеством повторов n , который называется степенью полимеризации. Различают:

- **мономер** – исходный продукт, звено (группа атомов), из которого состоит полимер, степень полимеризации **$n=1$**
- **олигомер** – низкомолекулярный продукт, группа атомов, состоящая из звеньев с низкой степенью полимеризации **$n=10$**
- **полимер** – высокомолекулярный продукт, многократно повторенный мономер, степень полимеризации **$n=100$ и больше**

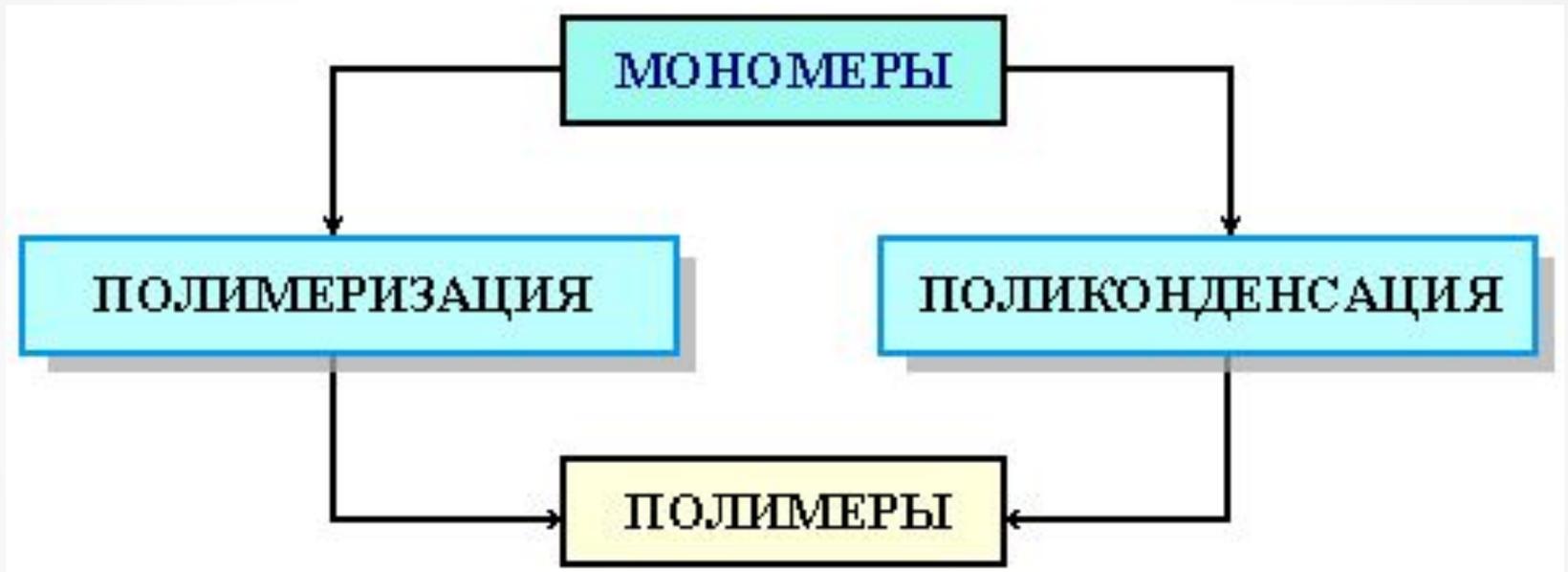
(В переводе с греческого поли – много; олигос – мало, немного, несколько; моно – один).



- Процесс превращения мономеров в полимер называется полимеризацией, а в олигомер соответственно – олигомеризацией.
- Процесс превращения смеси двух или более видов мономеров в полимер, называется сополимеризацией.



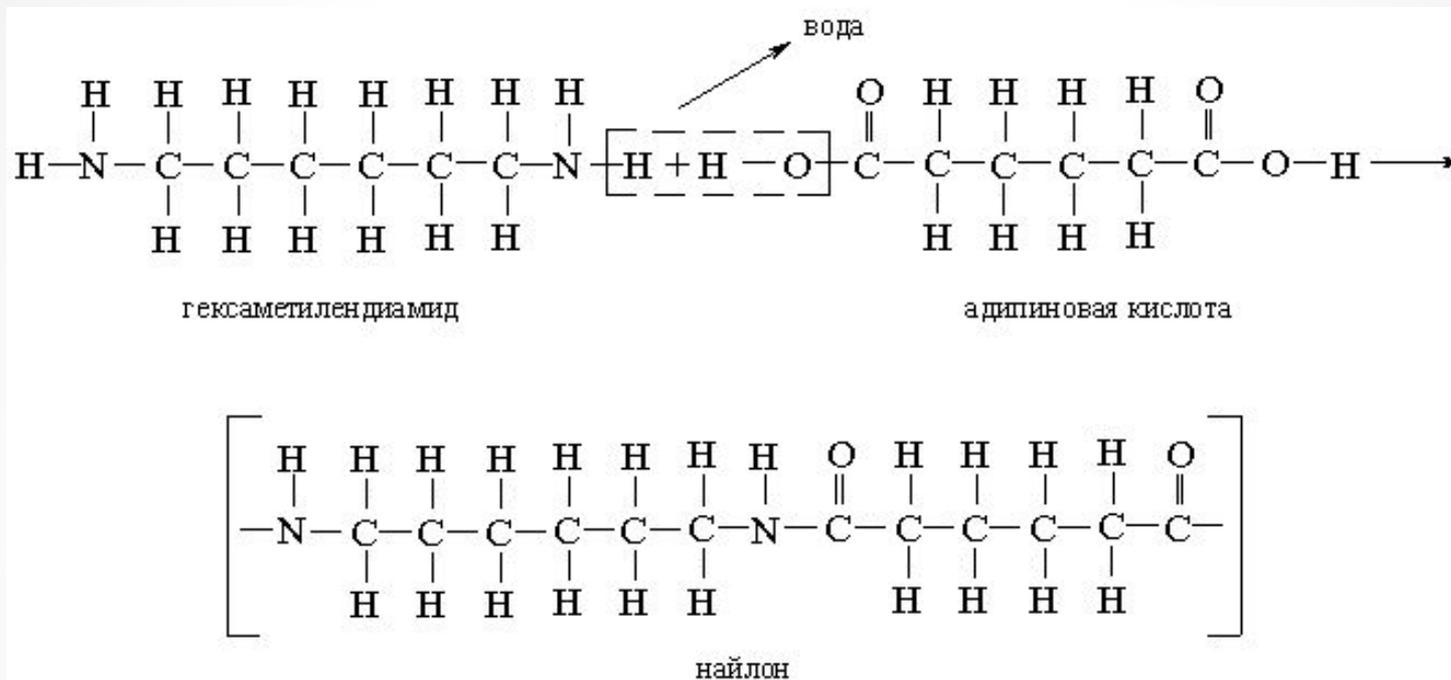
Получение полимеров



Получение полимеров: полимеризация и поликонденсация

- Многократное присоединение молекул мономеров или **полимеризация** происходит **без выделения побочных низкомолекулярных продуктов**
- Полимеризация, в ходе которой многократно повторяется процесс конденсации (взаимодействия) друг с другом функциональных групп мономеров, называется **поликонденсацией**.
- При поликонденсации **выделяются побочные низкомолекулярные соединения**, такие как вода H_2O , хлористый водород HCl , формальдегид CH_2O , аммиак NH_3 и другие.

Пример реакции поликонденсации



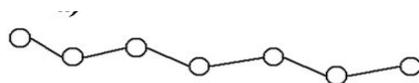
В реакции конденсации водородный атом одного мономера и OH-группа другого отщепляются с образованием молекулы воды.

Выделение побочных продуктов в случае изготовления электротехнических материалов обычно нежелательно, так это может ухудшать электротехнические свойства материалов

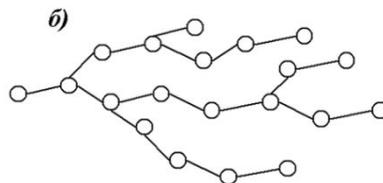
Строение молекул полимеров

В зависимости от форм, получающихся при реакции создания полимеров различают следующие структуры:

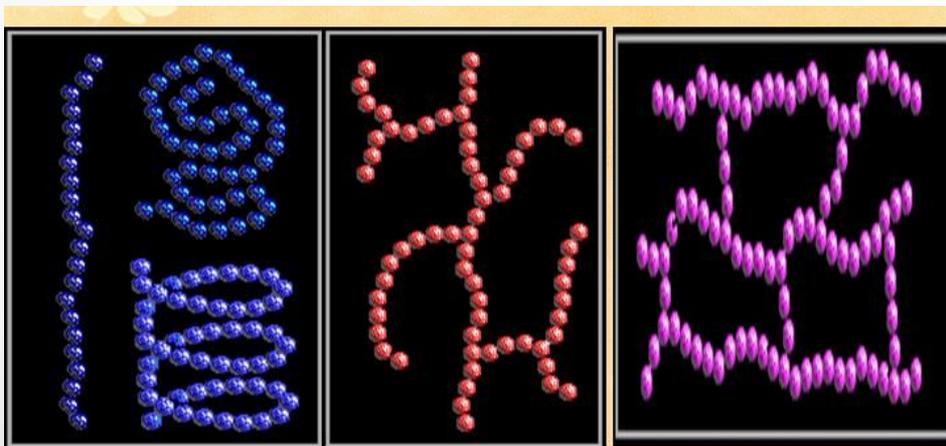
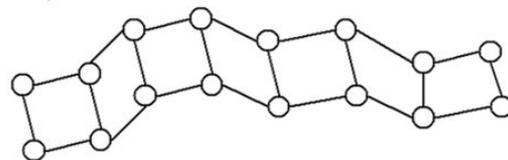
- линейная



- разветвленная



- пространственная



линейная

разветвленная

пространственная

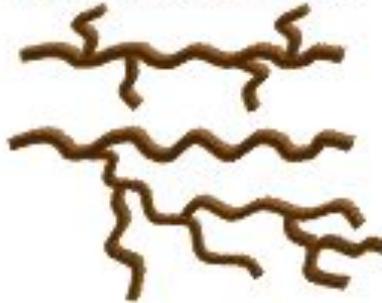


Различные типы макромолекул

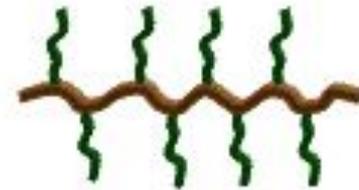
Линейные



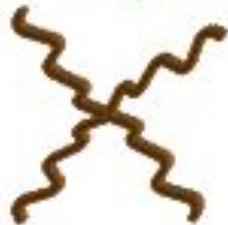
Разветвленные



Гребнеобразные



Звездообразные



Поликатенановые



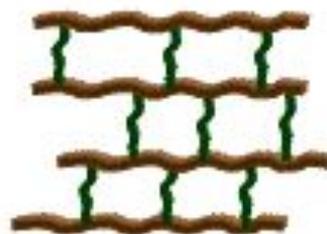
Полиротаксаны



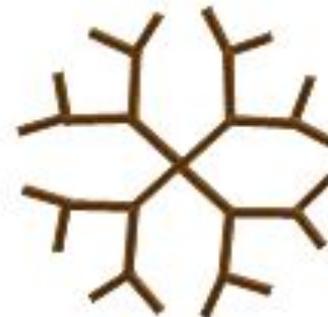
Лестничные



Полимерные сетки



Дендритные



Термопластичность и терморреактивность

- **Термопласты.** Линейные или слегка разветвленные полимеры. Они могут многократно размягчаться при нагревании и затвердевать при охлаждении. При этом химических изменений не происходит.
- **Реактопласты** (терморреактивные, или термоотверждающиеся, пластмассы). Имеют молекулы, образующие трехмерную сетку.

При охлаждении они превращаются в твердые неплавящиеся тела, которые невозможно снова размягчить без химического разложения. Необратимое затвердевание вызывается химической реакцией сшивки цепей.

- Все линейные полимеры термопластичны, а все сшитые сетчатые полимеры реактопластичны (терморреактивны).
- Структура мономерных единиц и их функциональных групп позволяют предсказать тип пластмассы, получаемой при полимеризации.

Свойства пластмасс сильно зависят от их структуры: термопласты менее твердые, но проще в переработке;

реактопласты тверже, но при превышении температуры выше критической

- необратимо разрушаются

Особенности физического состояния полимеров

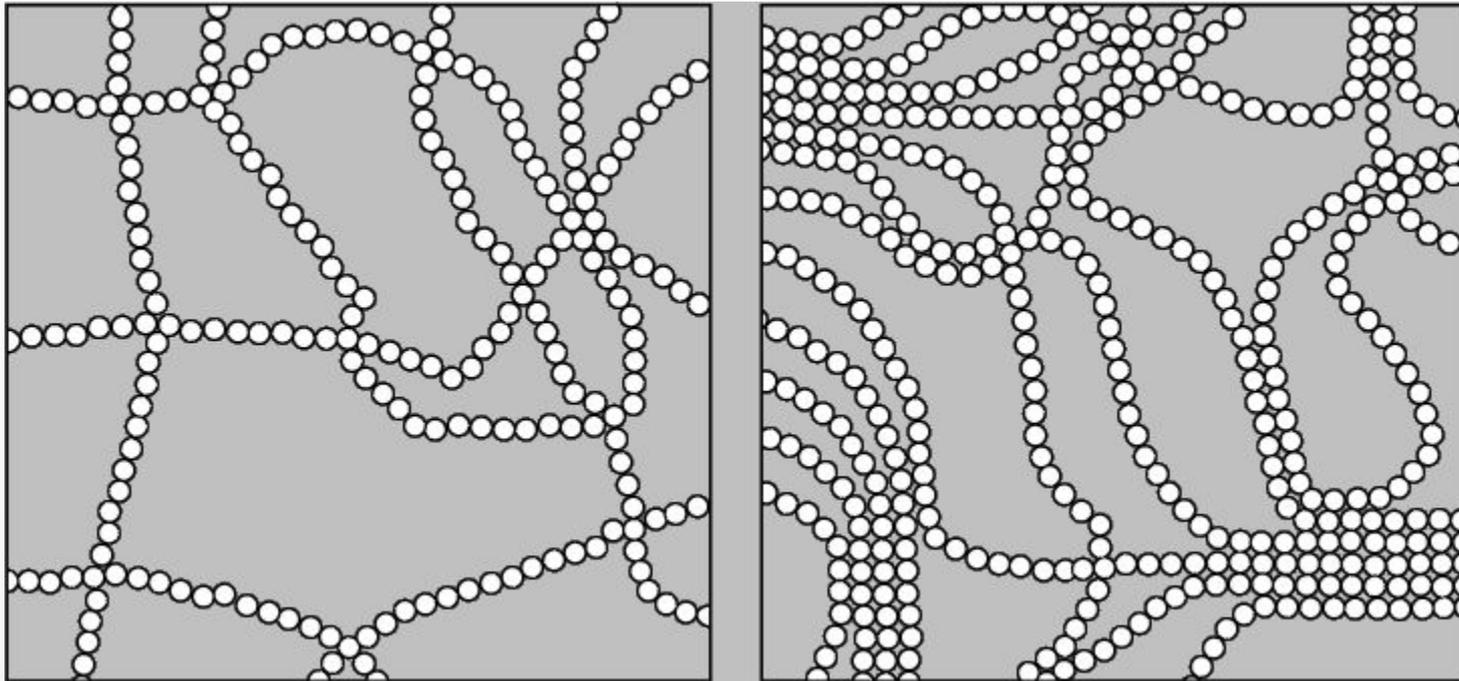
Кристаллизующиеся полимеры можно перевести в твердое аморфное состояние. В этом случае следует различать три физических (не фазовых) состояния полимерного вещества: **стеклообразное, высокоэластичное и вязкотекучее.**

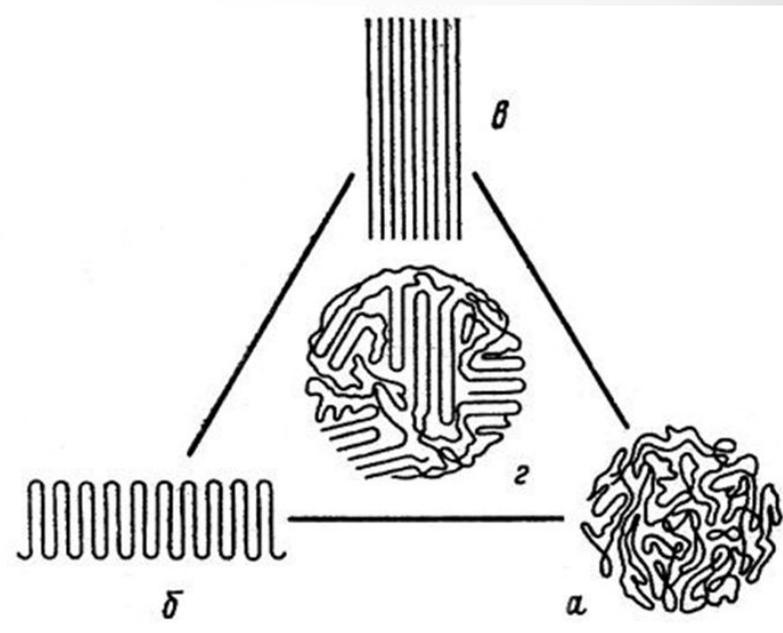
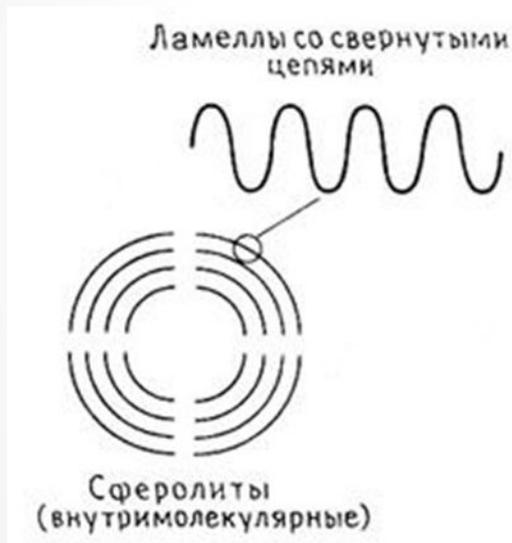
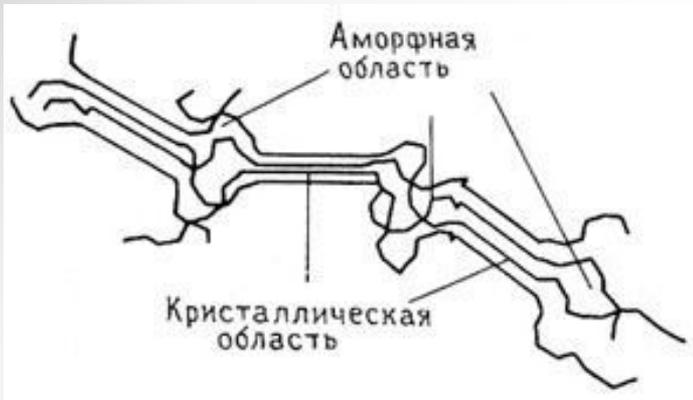
- В **стеклообразном** состоянии происходит колебательное движение атомов, входящих в состав цепи, но отсутствует перемещение звеньев и цепи, как единого целого (конструкционный материал, для изоляции)
- В **высокоэластичном** состоянии происходит колебательное движение звеньев (крутильные колебания), в результате цепи полимера приобретают способность изгибаться (в этом состоянии находятся оплетки кабелей)
- В **вязкотекучем** состоянии подвижностью обладает вся макромолекула как единое целое (состояние переработки)
- Температура перехода из стеклообразного в высокоэластичное состояние называется **температурой стеклования T_c**
- Температура перехода из высокоэластичного в вязкотекучее состояние, называется **температурой текучести T_T** .
- **Температура хрупкости** – температура, при которой ухудшаются механические свойства и наступает хрупкое разрушение образца. (Температура хрупкости всегда ниже температуры стеклования)
- Температуры **плавления, стеклования, текучести, хрупкости** определяют температурные режимы эксплуатации и переработки полимеров.
- Регулирование температуры перехода полимера из одного физического состояния в другое возможно введением **пластификаторов**

Надмолекулярная структура полимеров

- Аморфный полимер

Кристаллический полимер





Отдельные кристаллиты — это жесткие структуры. Возможны три предельные формы: статистический клубок (а), складчатая цепь (б) и выпрямленная цепь (в)

- Структура полимера может меняться за счет термической обработки и введения искусственных зародышей кристаллизации