

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

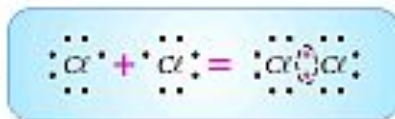
## 5. специальные

- 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.

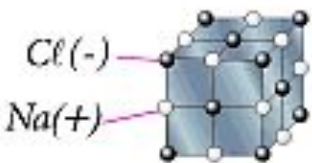
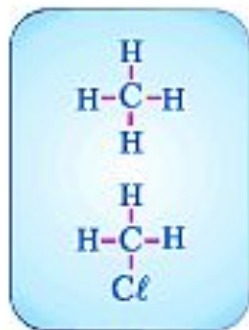
**I Ковалентная** (химическая связь). Молекулы образуются из атомов за счет объединения их внешних валентных электронов.



Молекулы могут быть:

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

2. Полярными ( $CH_3Cl$ )



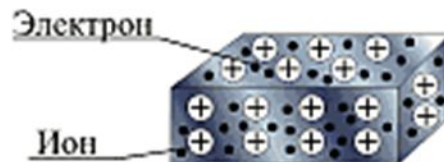
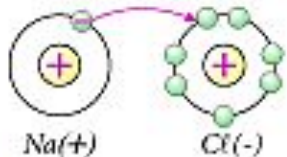
## II Ионная связь

Вещества имеют кристаллическую решётку ( $NaCl$ )

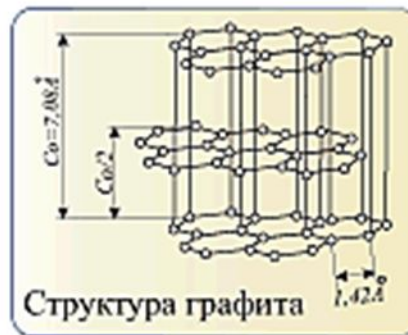
Вещества с ионной связью бывают:

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, газы 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



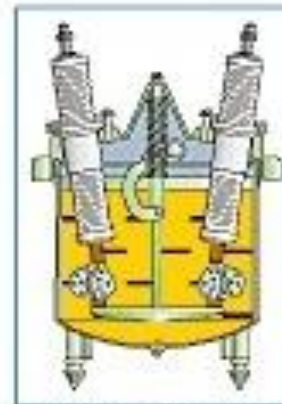
керамический изолятор

## III Твёрдое

Проводники, органические диэлектрики и др.

## IV Плазма

Равновесное состояние свободных электронов и ионов.



газообразный выключатель

# 4 агрегатных состояния вещества

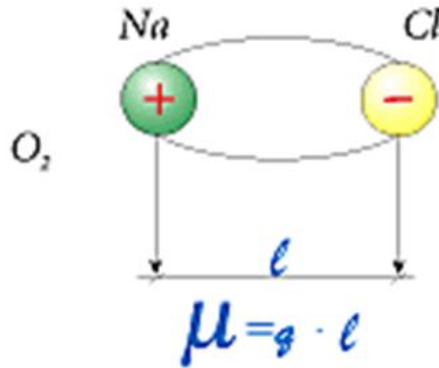
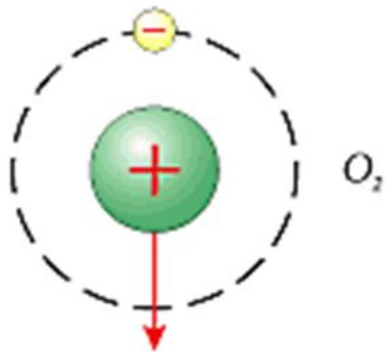
## I Газы

Энергия связи меньше энергии теплового хаотического движения

Молекулы газа могут быть:

1) нейтральными

2) полярными или дипольными



## II Жидкости



Энергия связи равна энергии теплового хаотического движения

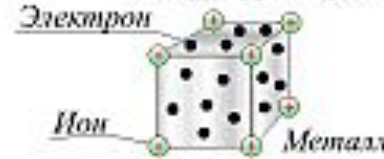
1. Диэлектрики состоят из нейтральных и слабополярных молекул.

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).

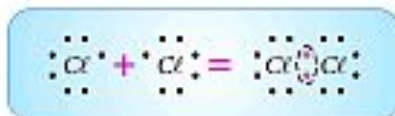
## IV. Плазма - полностью ионизированный газ

# Физико-химические свойства

Определяются в том числе видами химических связей в веществе

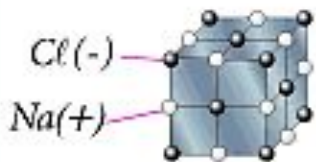
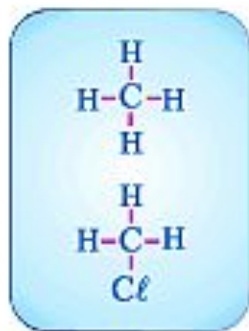
## Строение внешних электронных оболочек атомов определяет виды связей в молекулах

**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  
( $\text{CH}_3\text{Cl}$ )



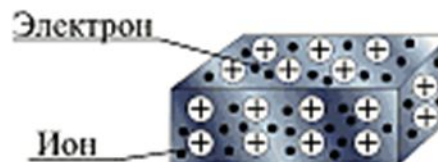
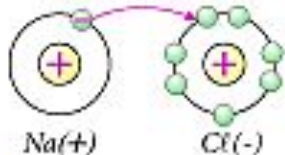
## II Ионная связь

Вещества имеют кристаллическую решётку ( $\text{NaCl}$ )

Вещества с ионной связью бывают:

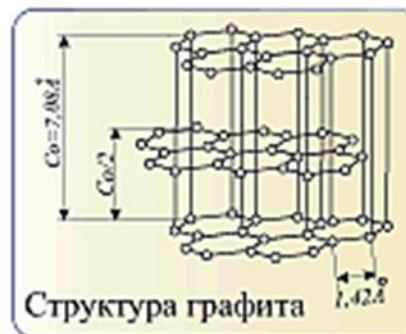
1) с плотной упаковкой ионов ( $\text{NaCl}$ )

2) с неплотной упаковкой ( $\text{CaF}_2$ )



## 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,  $\text{H}_2, \text{N}_2$ )



Электролизатор И-1066В



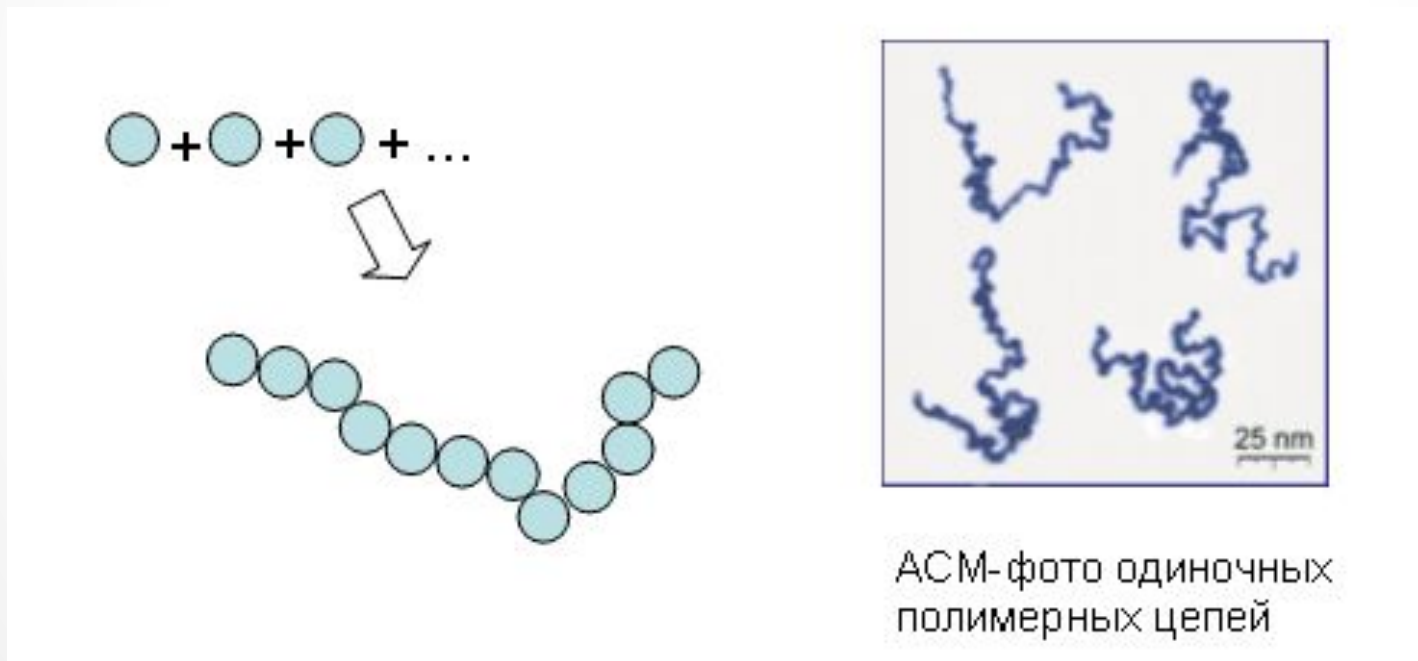
Щёлочная графитовая

# 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

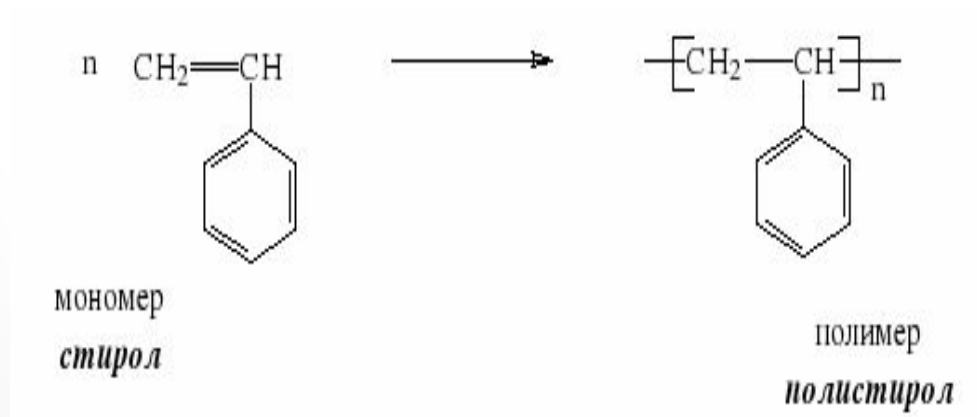
Молекулы полимеров состоят из звеньев с количеством повторов  $n$ , который называется степенью полимеризации. Различают:

- **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**

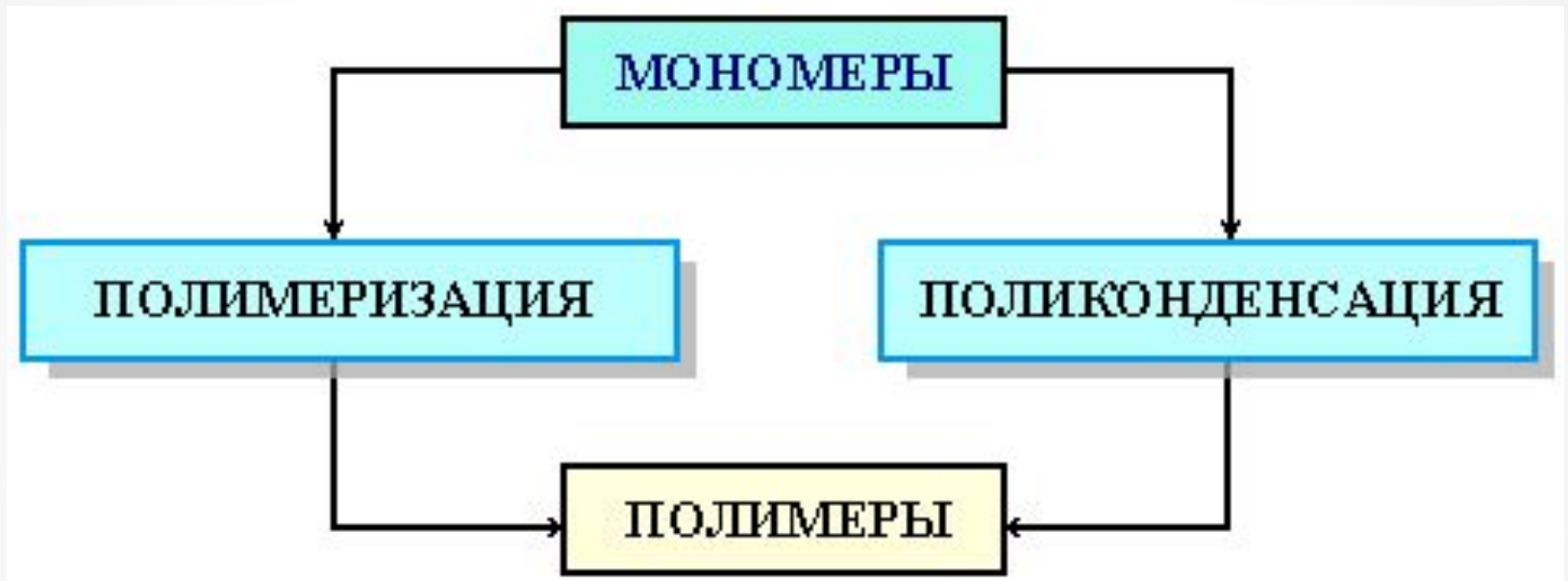
(В переводе с греческого поли – много; олигос – мало, немного, несколько; моно – один).



- 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

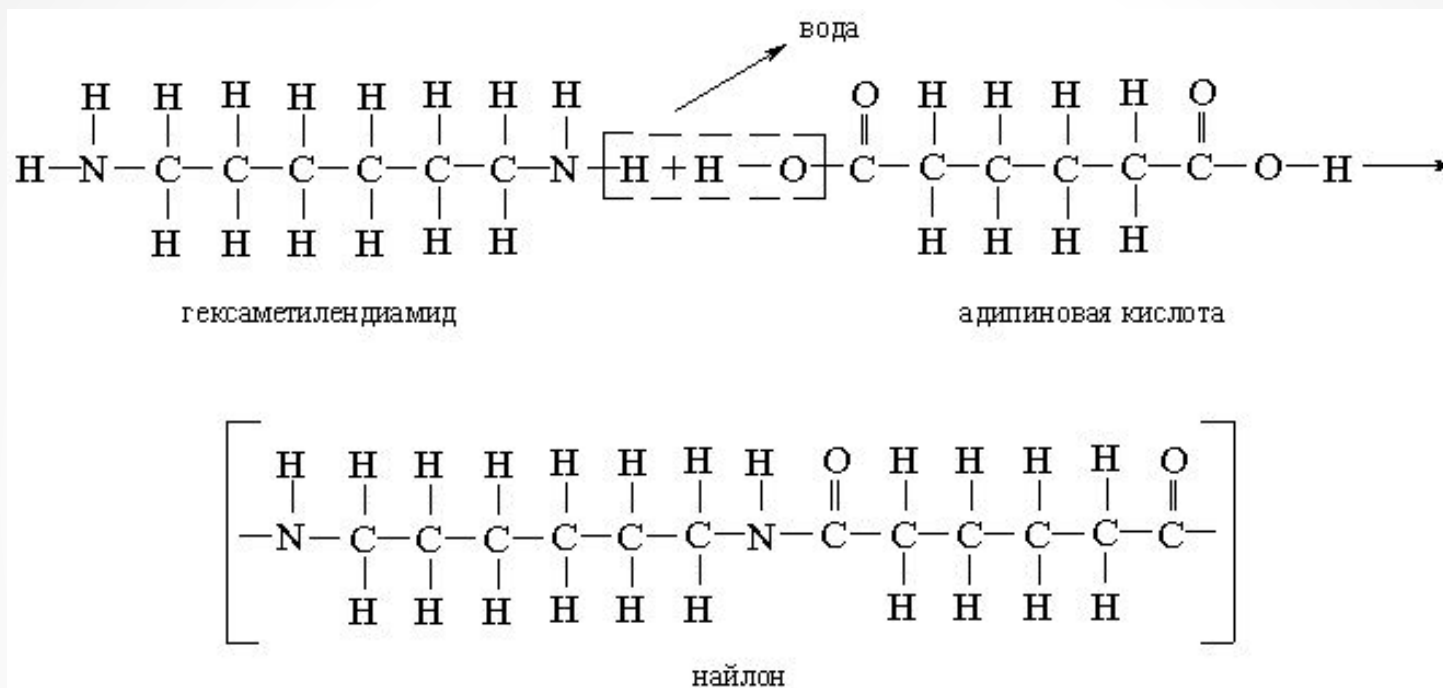




# Получение полимеров: полимеризация и поликонденсация

- 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  $\text{H}_2\text{O}$ , хлористый водород  $\text{HCl}$ , формальдегид  $\text{CH}_2\text{O}$ , аммиак  $\text{NH}_3$  и другие.

# Пример реакции поликонденсации



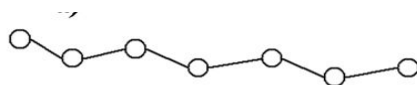
В реакции конденсации водородный атом одного мономера и OH-группа другого отщепляются с образованием молекулы воды.

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

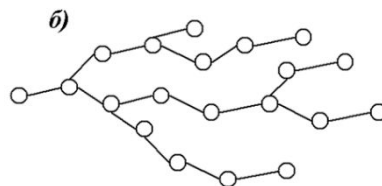
# Строение молекул полимеров

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

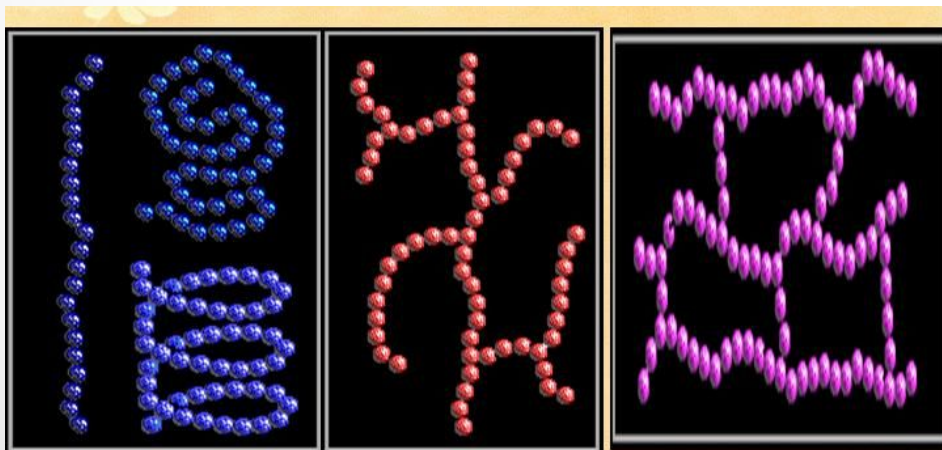
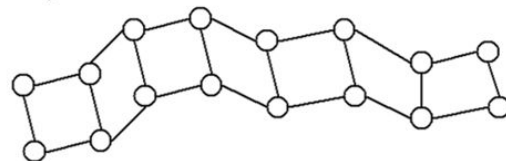
- линейная



- разветвленная



- пространственная



линейная

разветвленная

пространственная



## Различные типы макромолекул

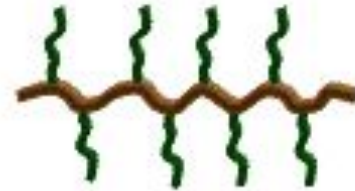
Линейные



Разветвленные



Гребнеобразные



Звездообразные



Поликатенановые



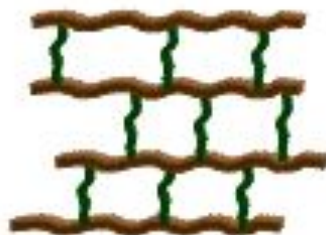
Полиротаксаны



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

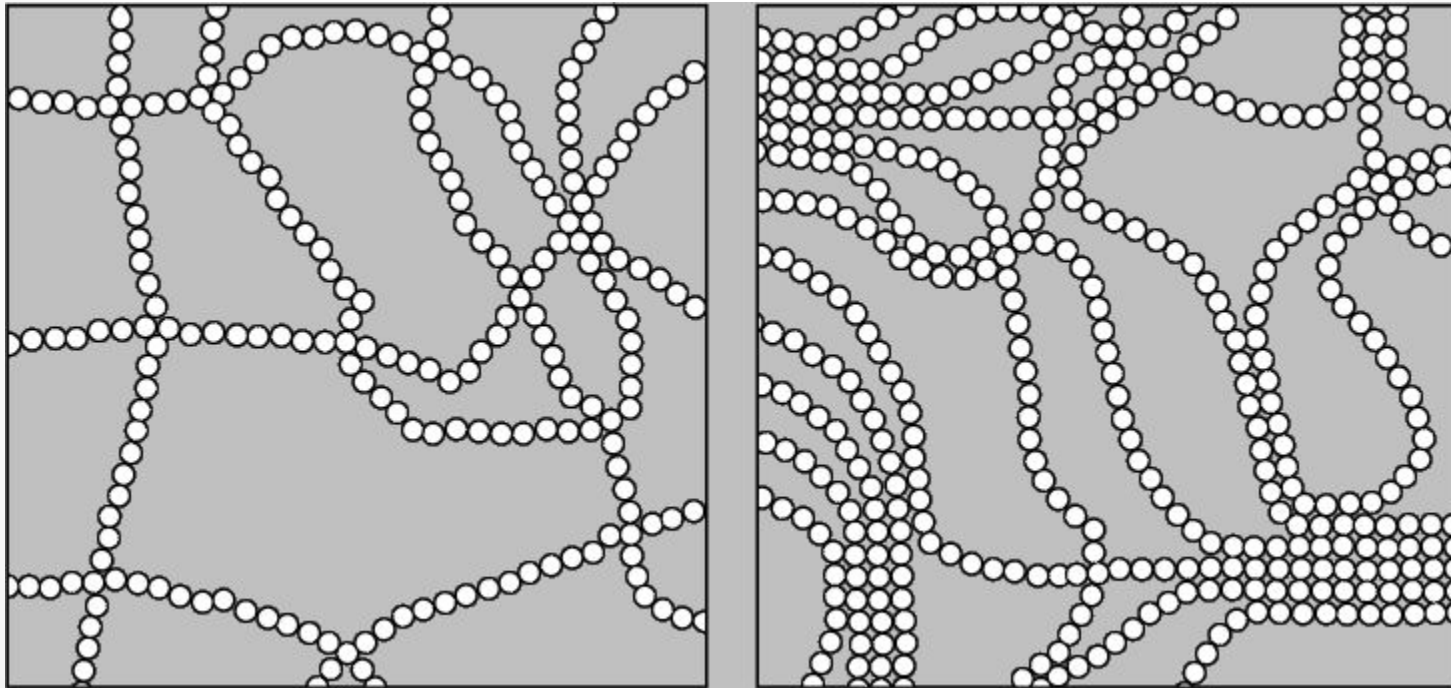
Кристаллизующиеся полимеры можно перевести в твердое аморфное состояние. В этом случае следует различать три физических (не фазовых) состояния полимерного вещества: **стеклообразное, высокоэластичное и вязкотекучее.**

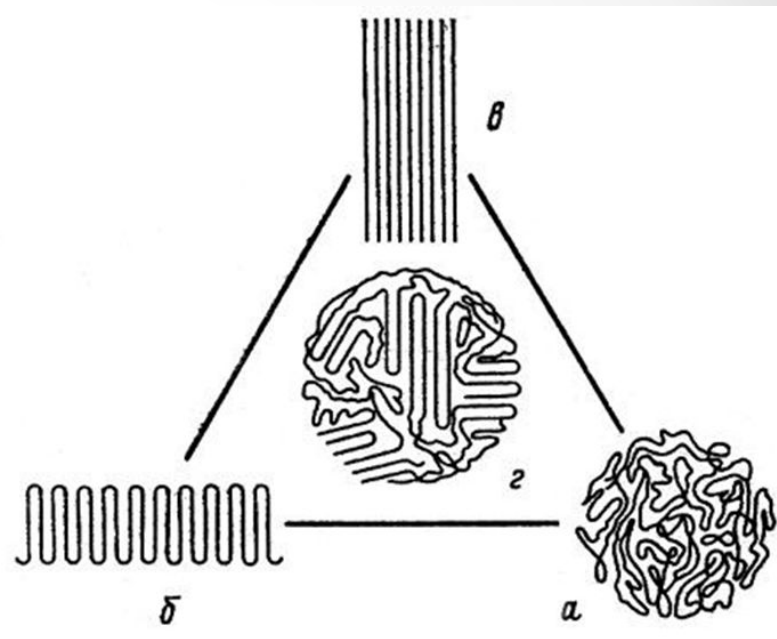
- В **стеклообразном** состоянии происходит колебательное движение атомов, входящих в состав цепи, но отсутствует перемещение звеньев и цепи, как единого целого ( конструкционный материал, для изоляции )
- В **высокоэластичном** состоянии происходит колебательное движение звеньев (крутильные колебания), 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