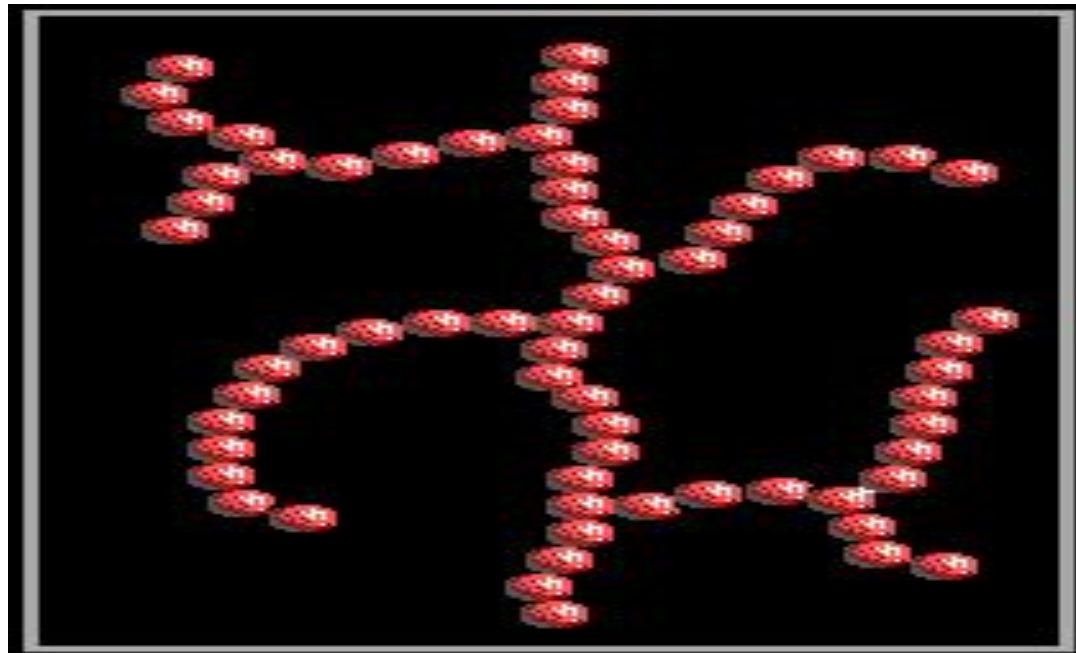
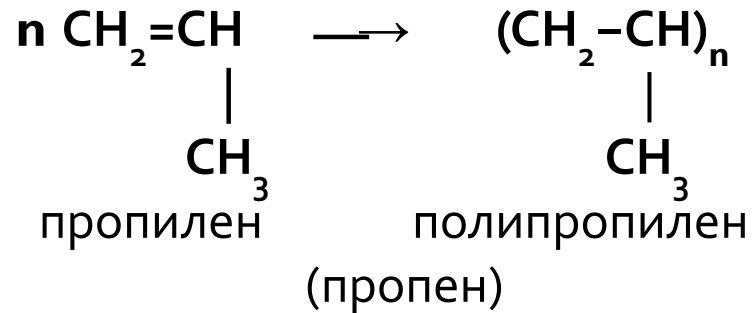


ПОЛИМЕРЫ – вещества,
молекулы которых состоят из
большого числа
повторяющихся группировок,
соединенных между собой
химическими связями.

Низкомолекулярные соединения, из которых образуются полимеры, называют **мономерами**.

Например, пропилен $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$ является мономером полипропилена:



Полимеры (по
строению)

линейные

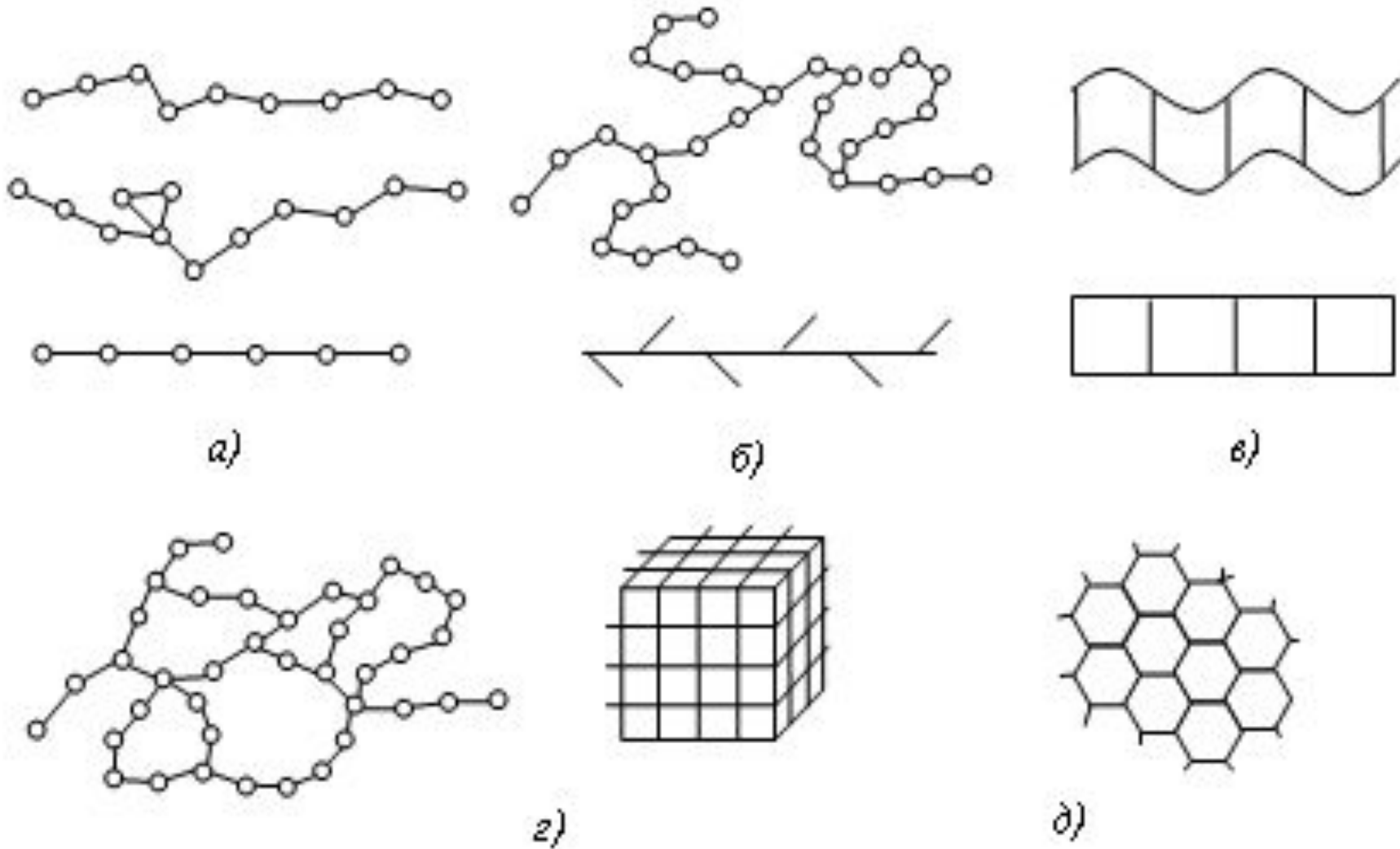
... —M—M—M—M—M—M—...

разветвленные

Основная цепь
макромолекулы
имеет короткие
ответвления

сетчатые

линейные цепи
связаны друг с
другом в единую
сетку более
короткими
поперечными
цепями



Форма макромолекулы полимеров: а – линейная;

б – разветвленная;

в – ленточная; г – пространственная, сетчатая, д – паркетная

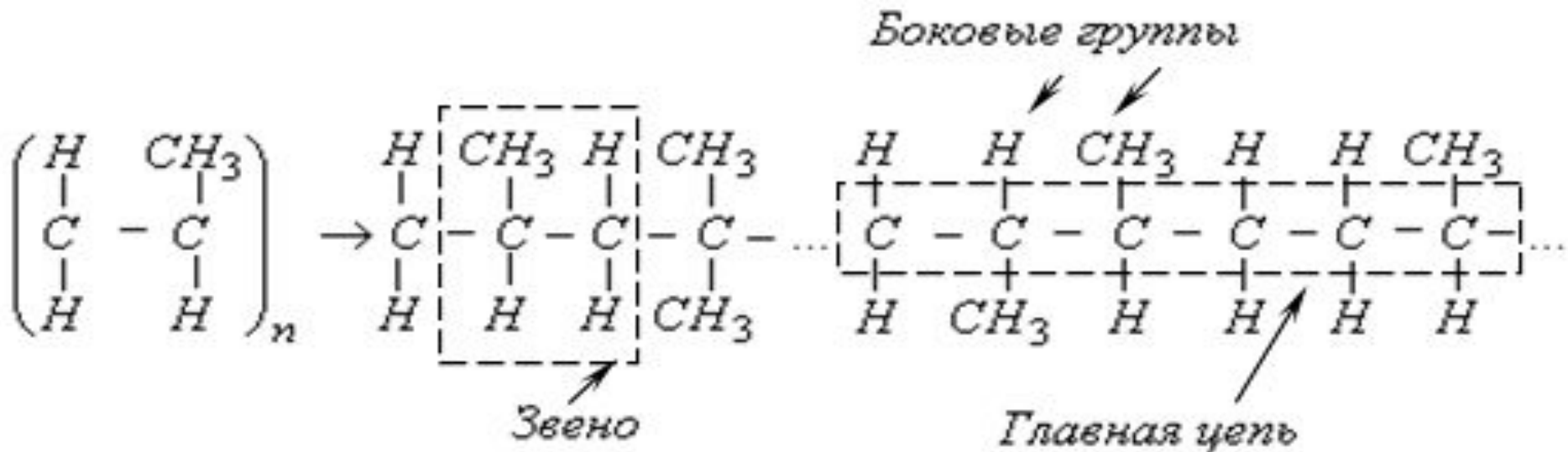
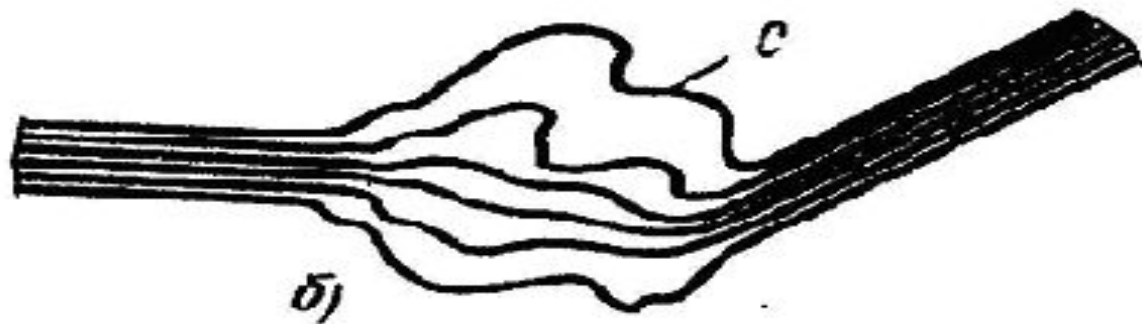
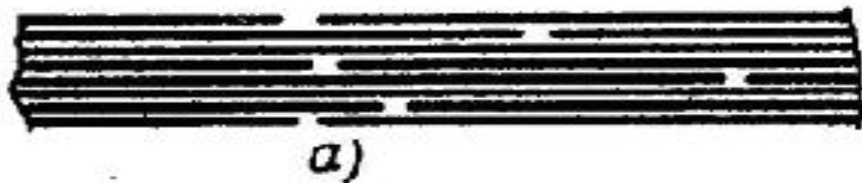
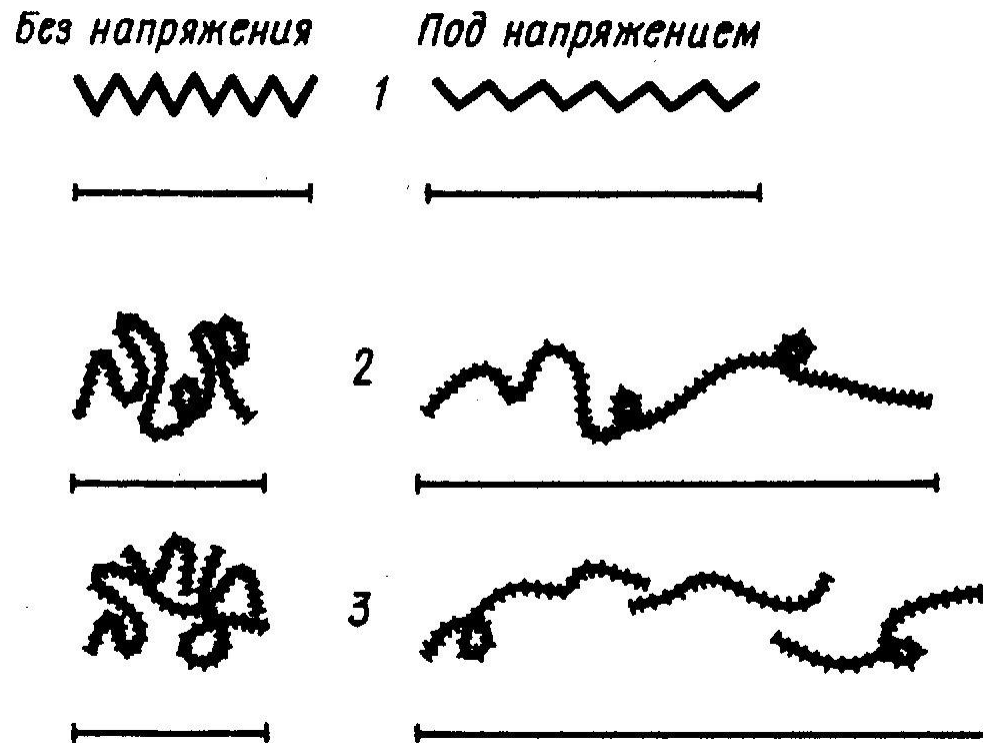


Схема строения линейной
макромолекулы



Схематичное строение
пачки:

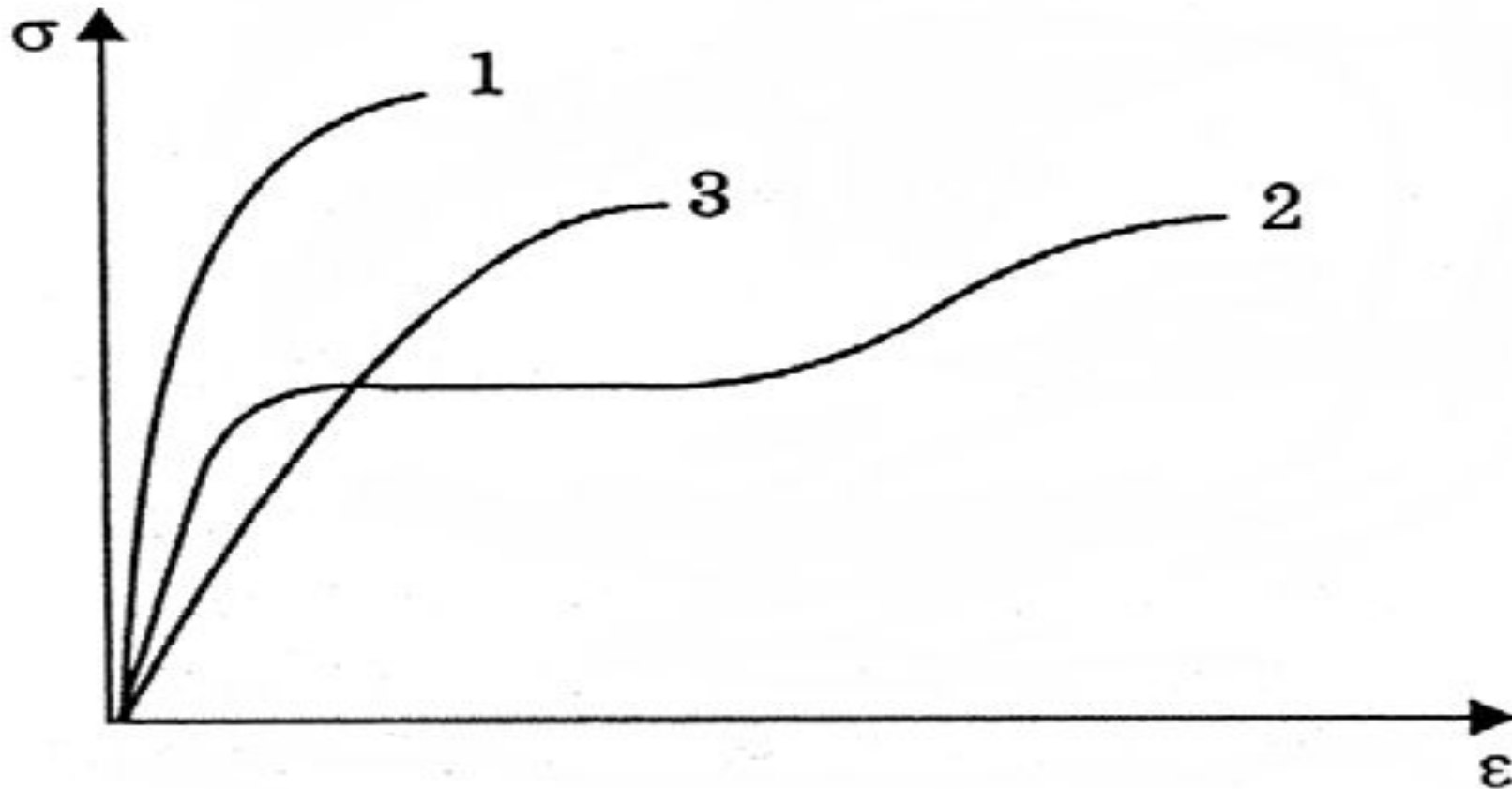
а – объединение
макромолекул в пачки;
б – пачка с аморфным
участком



Схематичное изображение молекулярных процессов при деформации:

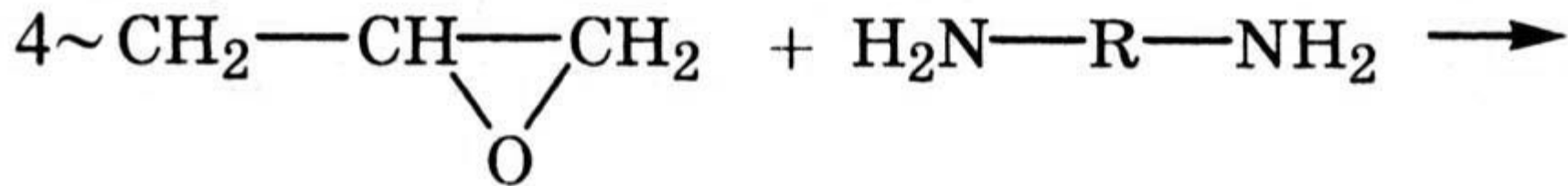
1 – упругое, 2 – высокоэластичное, 3 – вязкое

Диаграммы растяжения полимеров, находящихся в высокоэластическом состоянии



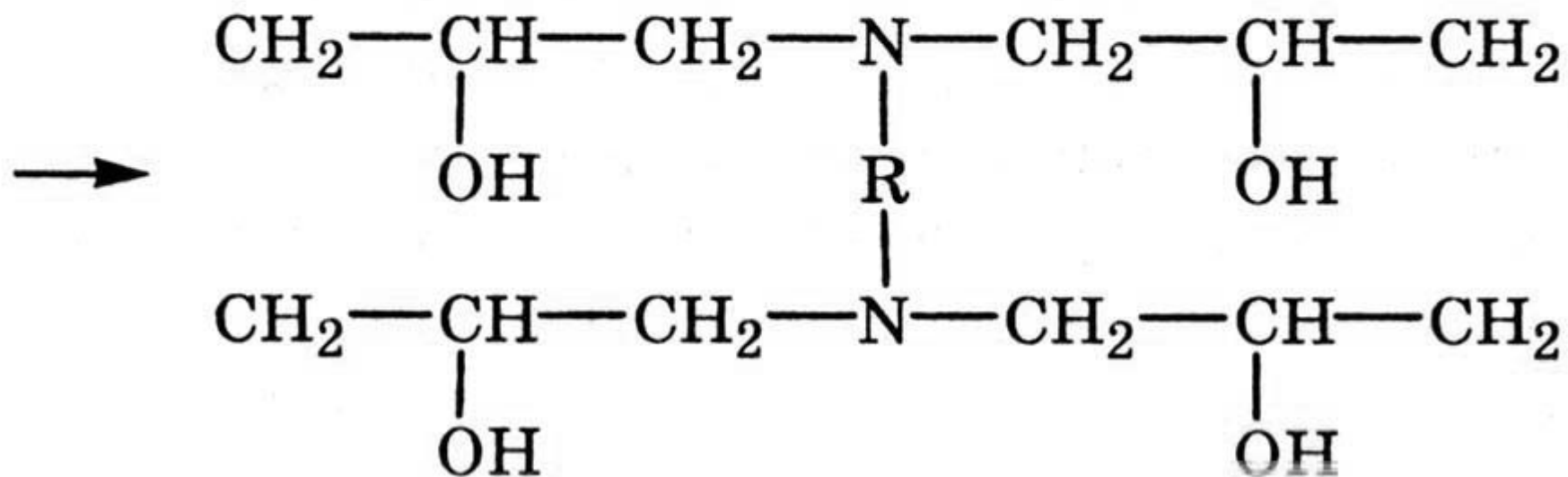
- 1 – аморфного термопласта;
- 2 – кристаллического;
- 3 – кристаллического при деформации с высокой скоростью

Реакция отверждения эпоксидной смолы



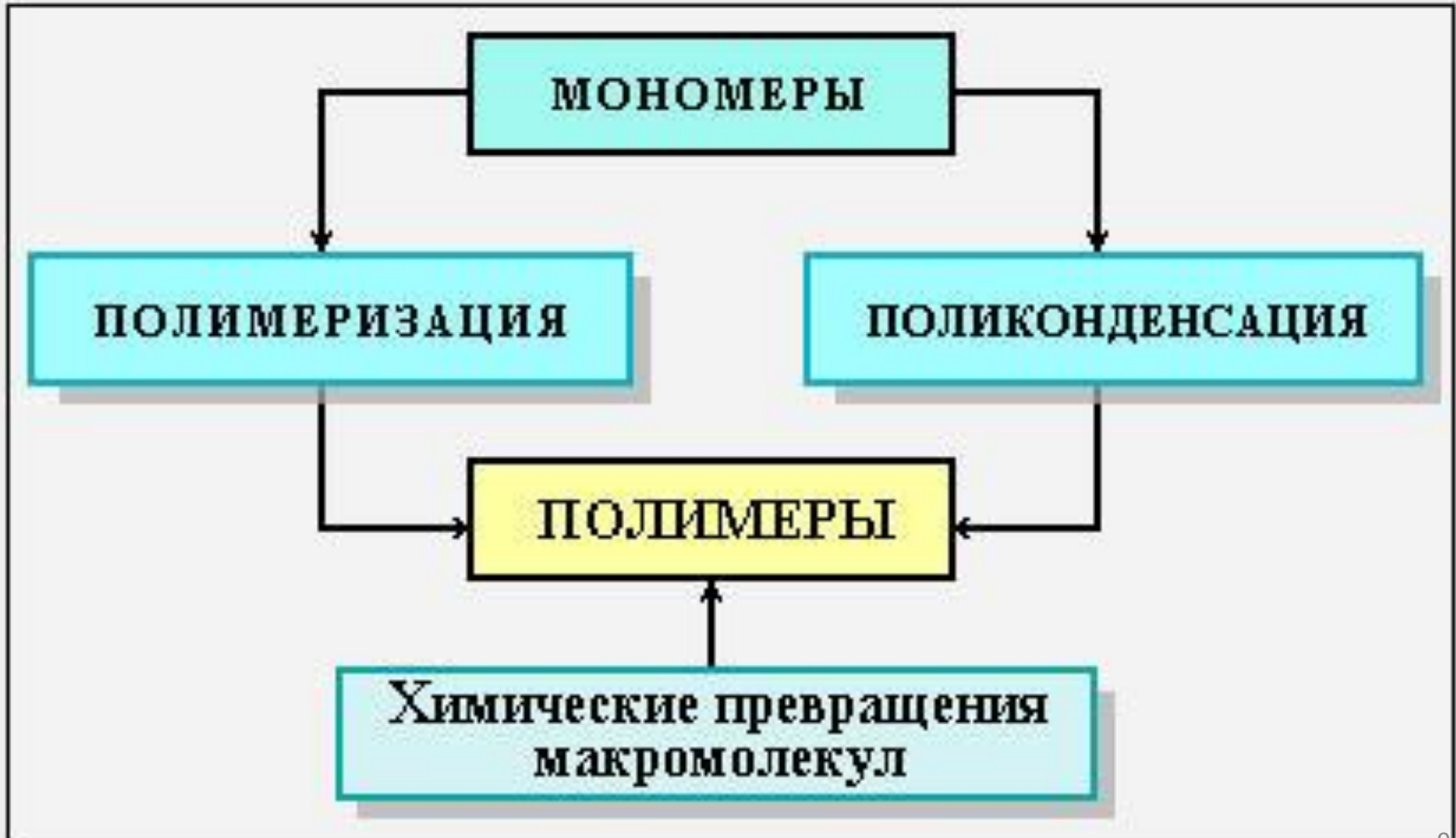
эпоксидная смола

отвердитель



отвержденная эпоксидная смола

Полимеры получают двумя способами:

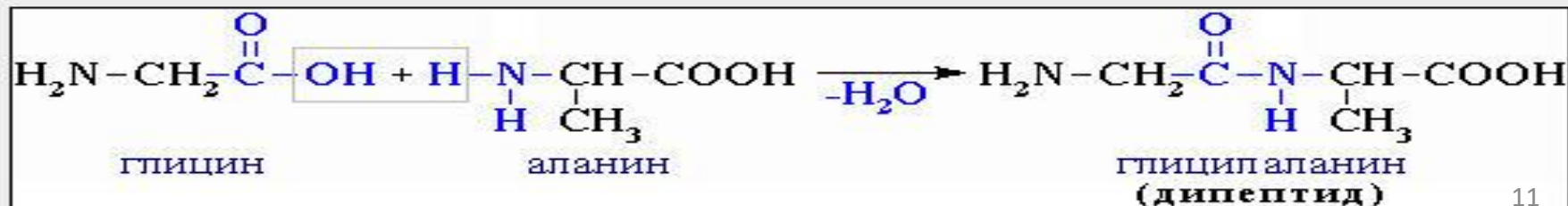


Важнейшие полимеры, получаемые реакцией полимеризации

ПОЛИМЕР		Формула мономера	ПОЛИМЕР		Формула мономера
Название	Формула		Название	Формула	
Полиэтилен	$(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	Полибутадиен	$(-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-)_n$	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$
Полипропилен	$(-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-)_n$	$\text{CH}_2=\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}$		Полиизопрен	$(-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}=\text{CH}-\text{CH}_2-)_n$
Полистирол (поли-винилбензол)	$(-\text{CH}_2-\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}-)_n$	$\text{CH}_2=\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}$	Полихлоропрен		$(-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{C}}=\text{CH}-\text{CH}_2-)_n$
Поливинил-хлорид	$(-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-)_n$	$\text{CH}_2=\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}$		Бутадиен-стирольный каучук (СКК) сополимер бутадиена и стирола	$(-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}=\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}-\text{CH}_2-)_n$
Тефлон	$(-\text{CF}_2-\text{CF}_2-)_n$	$\text{CF}_2=\text{CF}_2$			
Полиметил-метакрилат	$(-\text{CH}_2-\underset{\text{C}(=\text{O})\text{OCH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-)_n$	$\text{CH}_2=\underset{\text{C}(=\text{O})\text{OCH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}$			

Важнейшие полимеры, получаемые реакцией поликонденсации

П О Л И М Е Р		Формулы мономеров	
Название	Формула		
Лавсан	$[-O-CH_2CH_2-O-C(=O)-C_6H_4-C(=O)-]_n$	$HO-CH_2CH_2-OH + HO-C(=O)-C_6H_4-C(=O)-OH$	
Капрон (полиамид-6)	$[-NH-(CH_2)_5-C(=O)-]_n$	$CH_2-CH_2-CH_2-C(=O)$ $ $ CH_2-CH_2-NH (полимеризация)	$NH_2-(CH_2)_5-C(=O)-OH$ (поликонденсация)
Найлон (полиамид-6,6)	$[-NH-(CH_2)_6-NH-C(=O)-(CH_2)_4-C(=O)-]_n$	$NH_2-(CH_2)_6-NH_2 + HO-C(=O)-(CH_2)_4-C(=O)-OH$	
Фенол-формальдегидные смолы	$\left[\begin{array}{c} OH \\ \\ \text{C}_6H_3 \\ \\ CH_2 \end{array} \right]_n$ новолак, резол	$\begin{array}{c} OH \\ \\ \text{C}_6H_5 \end{array} + \begin{array}{c} H \\ \\ H-C=O \end{array}$	
	$\left[\begin{array}{c} OH \quad \quad OH \\ \quad \quad \\ \text{C}_6H_3 \quad \quad \text{C}_6H_3 \\ \quad \quad \\ CH_2 \quad \quad CH_2 \\ \\ CH_2 \end{array} \right]_n$ резит		



Композиционные материалы

Классификация и
требования

Наполнитель и матрица

- **Композиционные материалы (композиты)** представляют собой **гетерофазные** системы, полученные из двух или более компонентов с сохранением индивидуальности каждого из них.
- В строении композита выделяют **наполнитель (армирующий компонент)** и **связующее (матрицу)**.
- **Матрица** связывает композицию (обеспечивает непрерывность), позволяет изготовить необходимую инженерную конструкцию и передавать внешние нагрузки к несущему упрочняющему компоненту.
- **Наполнитель** является разделенным компонентом и играет усиливающую или армирующую роль.
- **Примеры** композиционных материалов: алюминиевые сплавы, упрочненные борными или углеродными волокнами; бетон, армированный стальной проволокой; пластмасса, упрочненная стекловолокном; упрочненные нейлоном смолы. Примером естественного композиционного материала является дерево, в котором лигнин упрочнен волокнами целлюлозы.

Характерные признаки

- Состав и форма компонентов материала определены заранее;
- компоненты присутствуют в количествах, обеспечивающих заданные свойства материала;
- материал является однородным в макромасштабе и неоднородным в микромасштабе (компоненты различаются по свойствам, и между ними существует явная граница раздела);
- полученный композиционный материал обладает свойствами, не присущими индивидуальным компонентам.

Классификация

Композит

По типу матрицы

Металлическая

Неметаллическая

Комбинированная
(полиматричные
композиты)

По форме наполнителя

Нульмерные
(дисперсионно-
упрочненные)

Одномерные
(волоконистые)

Двумерные
(слоистые)

По схеме армирования

Хаотично
армированные

Одномерно
армированные

Двумерно
армированные

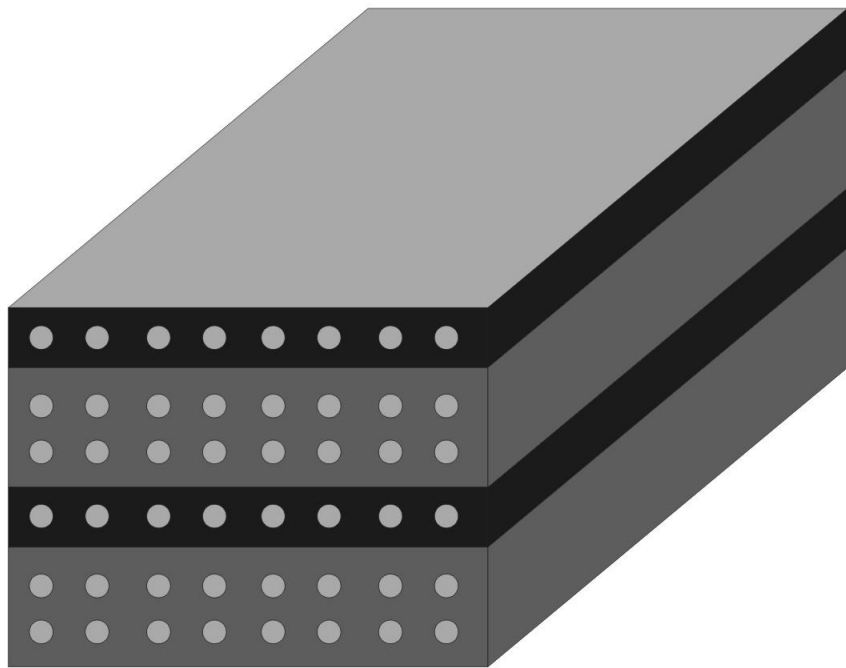
Пространственно
армированные

По типу наполнителя

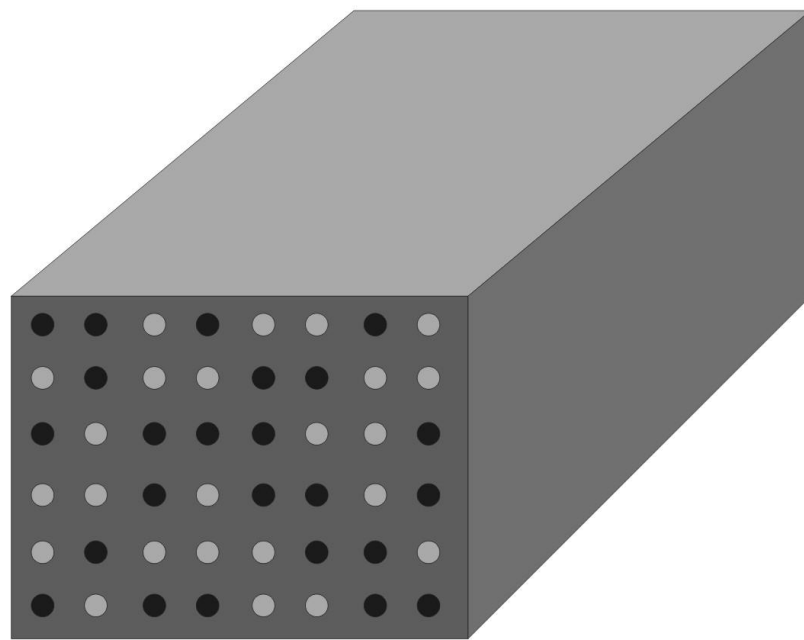
С одним
наполнителем

С несколькими
наполнителями
(полиармированные)

Полиматиричные и полиармированные

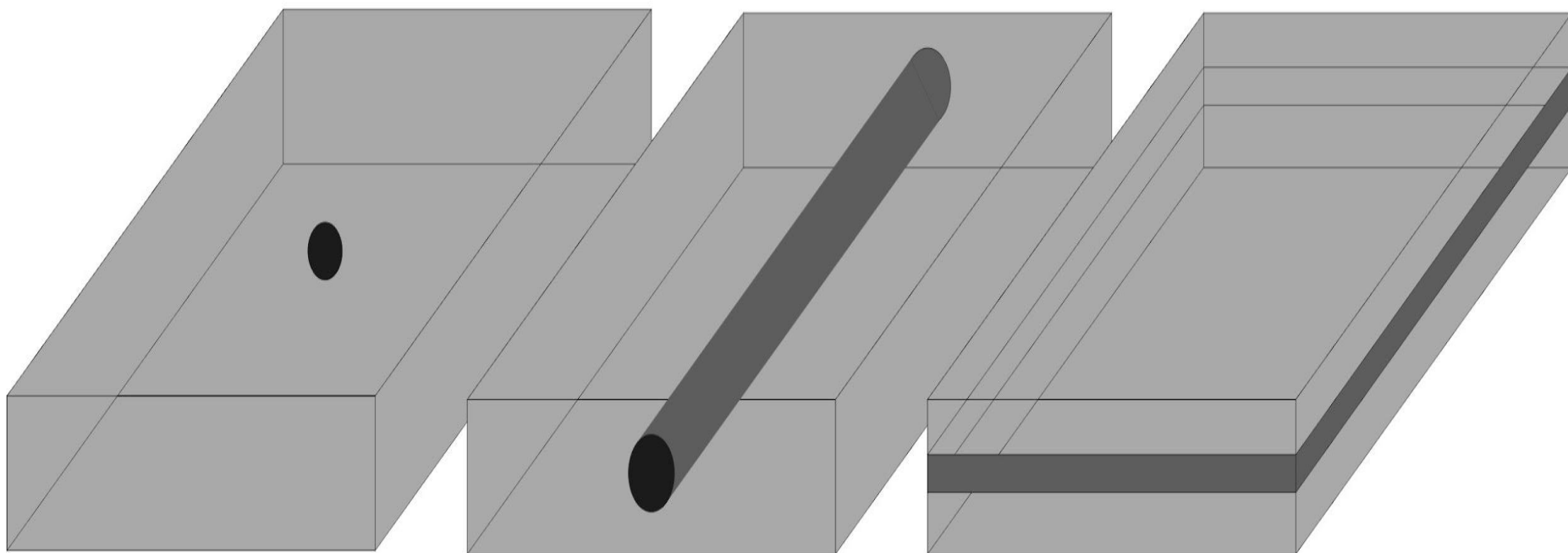


Полиматиричны
й



Полиармированны
й

Форма наполнителей

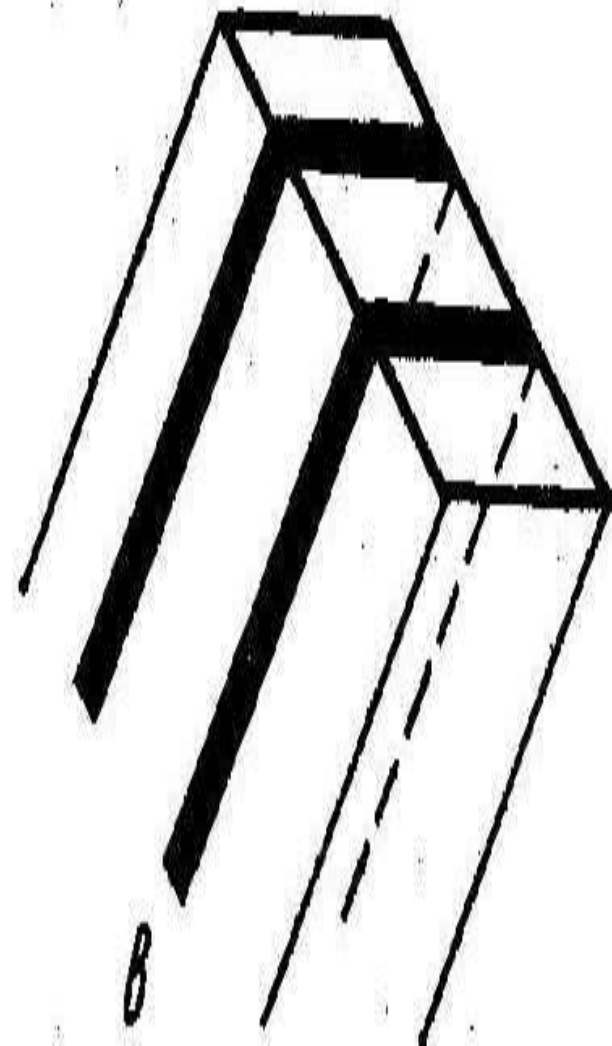
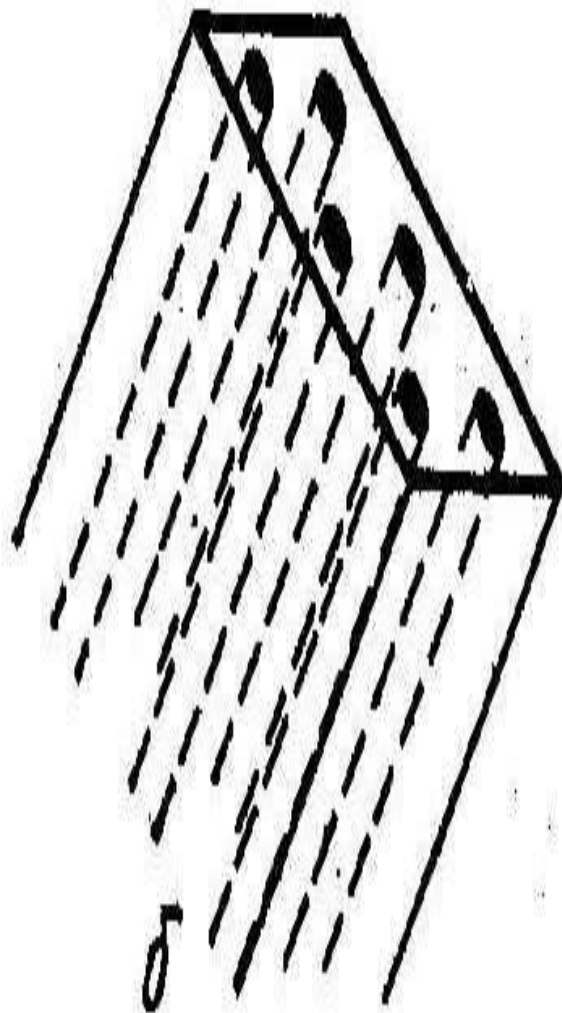
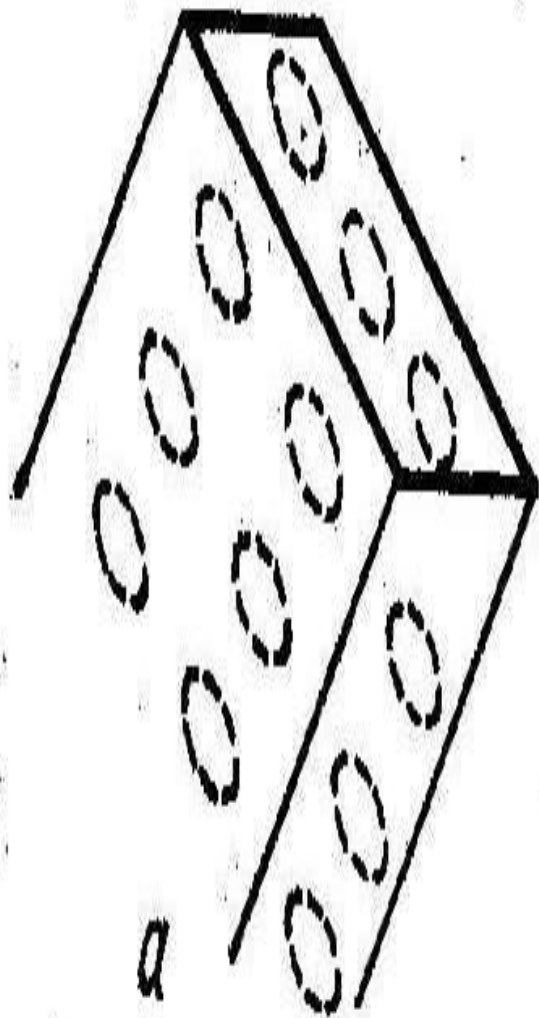


a)

б)

в)

Классификация наполнителей по форме:
a – нуль-мерные; *б* – одномерные; *в* –



. Схема строения композиционных материалов:
а – дисперсноупрочненные; б - волокнистые; в -
слоистые

Дисперсионно-упрочненные КОМПОЗИТЫ

Неметаллическая
матрица

Неметаллическая
частица
(бетон,
полимерный бетон)

Металлическая
частица
(Ag, Cu + эпоксидная смола;
Al + полиуретан)

Металлическая
матрица

Металлическая
частица

Наполнитель
тверже
(жаростойкие)

W

Cr

Mo

Наполнитель мягче
(с хорошей
обрабатываемостью;
антифрикционные)

Pb в Fe или Cu

Неметаллическая
частица
(керметы)

Карбиды

Оксиды

Бориды

Нитриды

Волокнистые композиты

Неметаллическая матрица (полимерные)

Металлическая матрица (Al, Ti, Mg, Ni и их сплавы)

Матрица

Волокна

Металлические волокна

Неметаллические волокна

Реактопласты

Термопласты

Эпоксидные смолы

Полиэфирные смолы

Полиуретаны и др.

Полиэтилен

Поливинилхлорид

Полистирол и др.

Стеклопластики

Органопластики

Боропластики

Карбопластики

Сталь

Mo

W

Be

Ta и др.

Углеродные

Борные

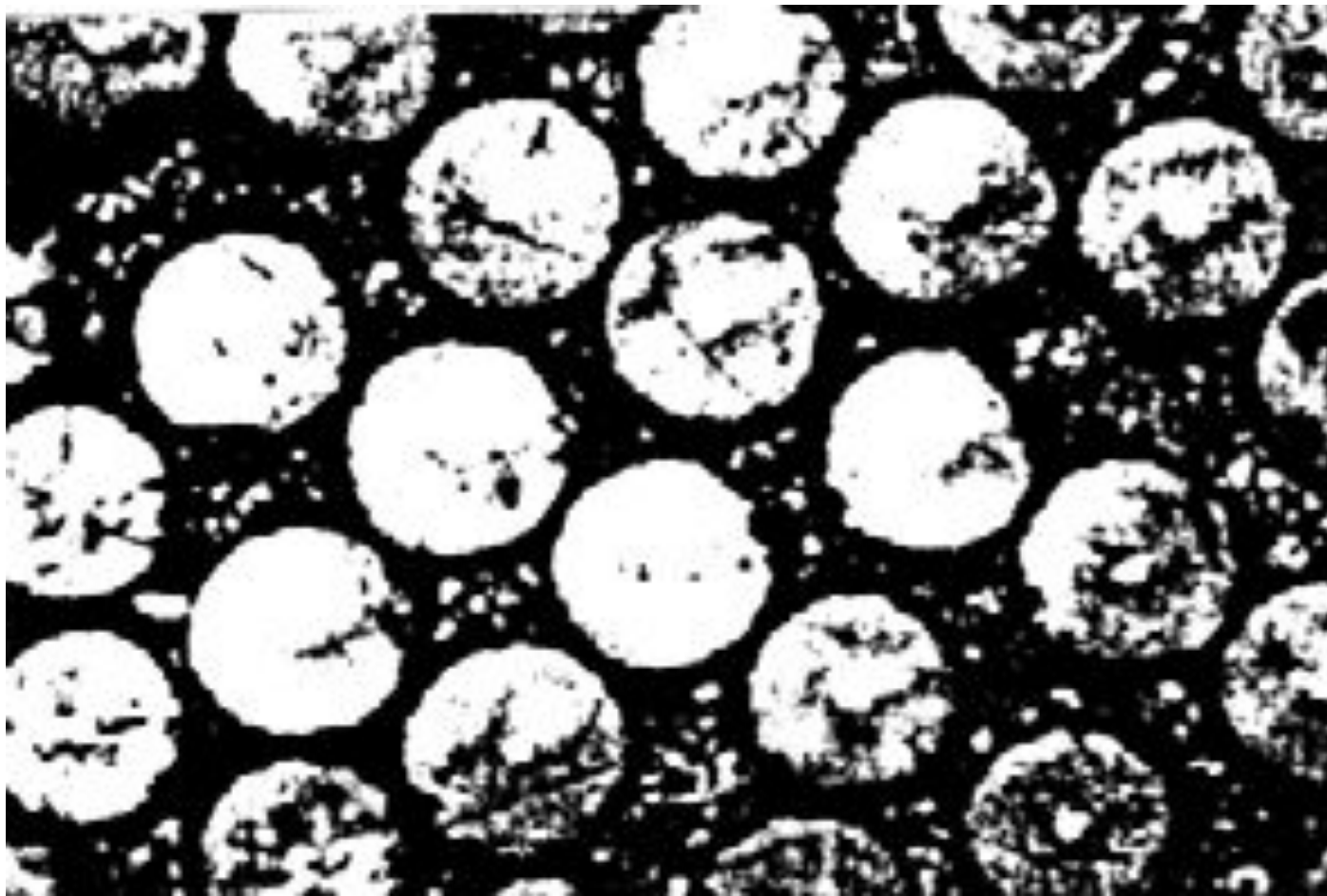
Оксидные

Al₂O₃

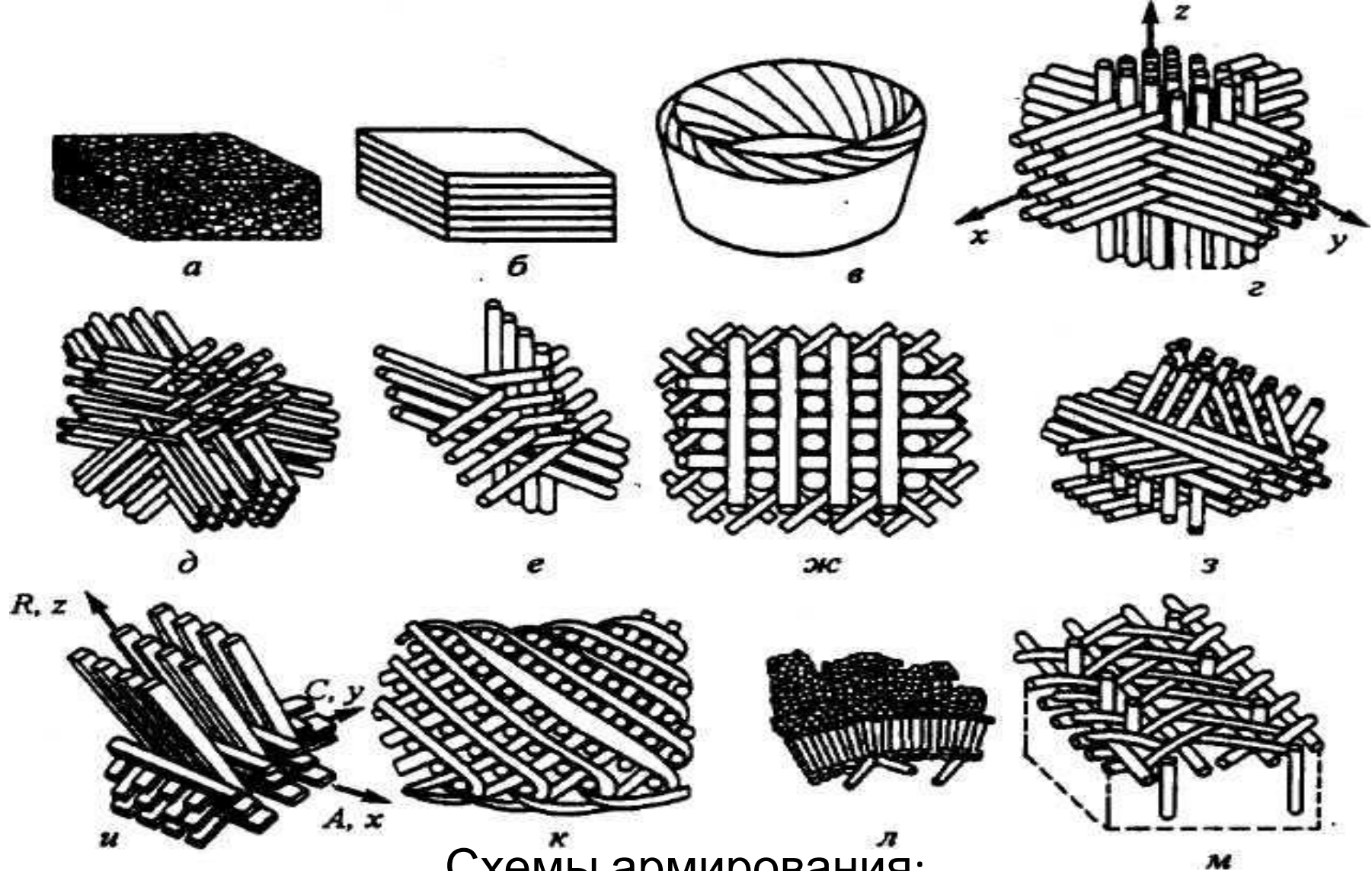
ZrO₂ и др.

Волокнистые композиты

- Высокопрочные **волокна** воспринимают основные напряжения, возникающие в композиции при действии внешних нагрузок, и обеспечивают жесткость и прочность композиции в направлении ориентации волокон.
- **Матрица** обеспечивает совместное действие волокон за счет собственной жесткости и взаимодействия на границе матрица–волокно.
- Механические свойства определяются **тремя основными параметрами**: прочностью армирующих волокон, жесткостью матрицы и прочностью связи на их границе раздела.
- С уменьшением диаметра волокна уменьшается вероятность возникновения внутренних дефектов, размеры дефектов также уменьшаются – масштабный фактор.
- **В результате повышается прочность волокна: например, стеклянная пластина имеет предел прочности при растяжении $\sigma_{\text{в}} \approx 70$ МПа, у тонкого же стекловолокна $\sigma_{\text{в}} \approx 2800\div 5000$ МПа.**



- **Микроструктура КМ ВКА-1 с алюминиевой матрицей, армированной 50 % волокнами бора**

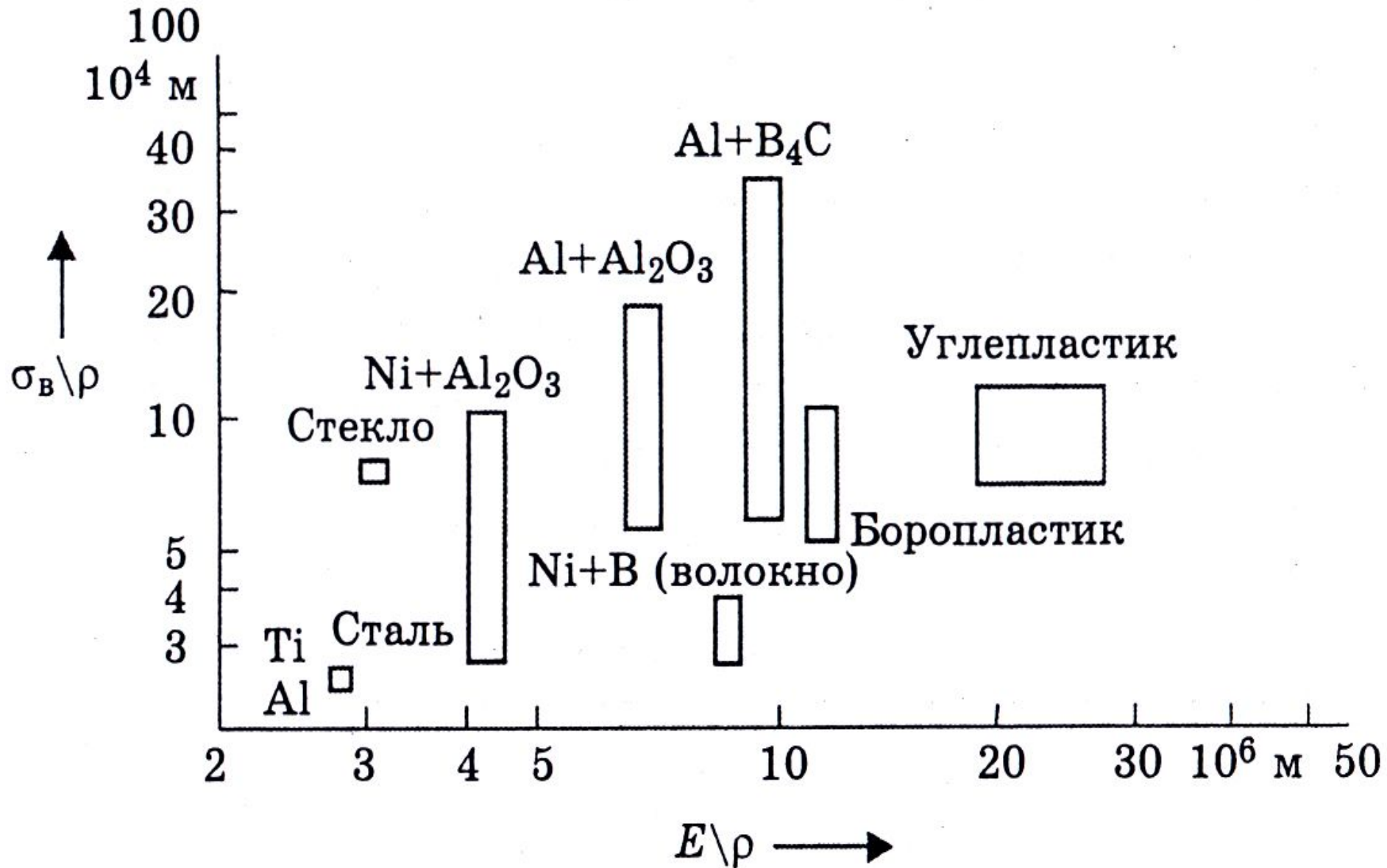


Схемы армирования:

а) хаотическая; б) слоистая; в) розеточная; г)-з) ортогональные;
 и) аксиально-радиально-окружная; к) аксиально-спиральная;
 л) радиально-спиральная; м) аксиально-радиально-

спиральная

Удельные характеристики композитов (ρ – плотность материала)



Требования к композитам

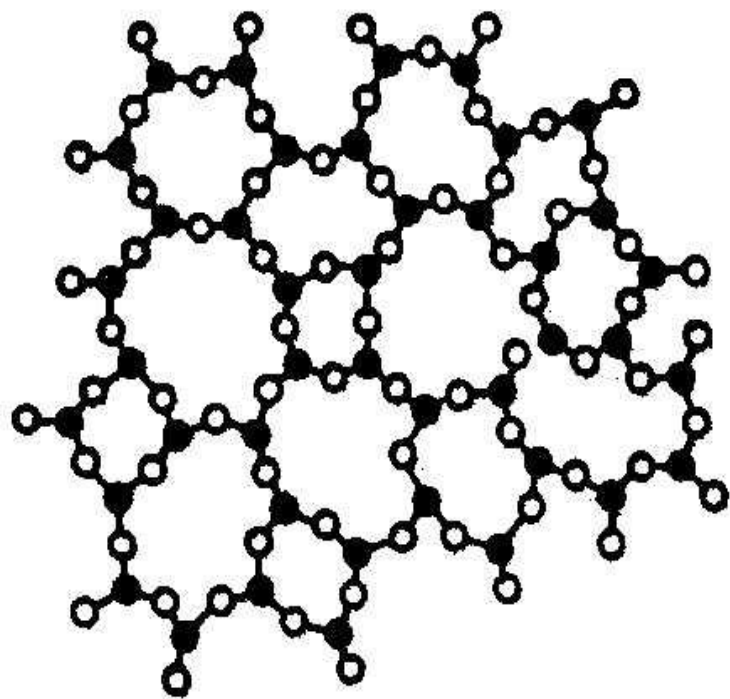
- К матрице и наполнителю предъявляются эксплуатационные и технологические **требования**.
- К **эксплуатационным** относятся **требования** по механическим, электрическим и теплофизическим свойствам, плотности, стабильности свойств в определенном температурном интервале, химической стойкости и т.п.
- К **технологическим требованиям** относятся: возможность создания высокопроизводительного процесса изготовления изделий; совместимость наполнителя с материалом матрицы, т.е. возможность достижения прочной связи между ними

Характеристика композитов

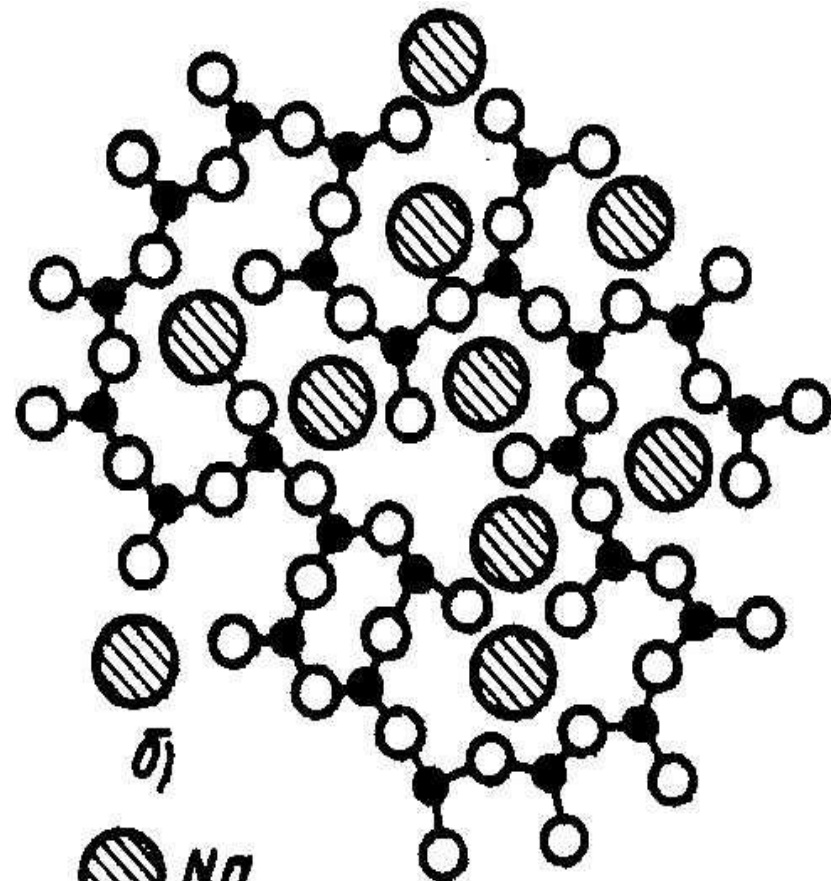
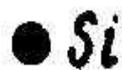
Характеристика	С дисперсными частицами		Волокнистые
	Наночастицы $d_p = 10 - 100$ нм	Микрочастицы $d_p = 1 - 50$ мкм	
Роль матрицы	В основном воспринимает нагрузку	В среднем воспринимает нагрузку	Передает нагрузку волокну
Роль наполнителя	Препятствует движению дислокаций	Сдерживает деформацию матрицы, придает твердость	В основном воспринимает нагрузку, препятствует движению дислокаций
Армирующие факторы	d_p, l_p – расстояние между частицами, ϕ_p	d_p, l_p, ϕ_p – объемная доля частиц	Размеры и направление волокна, ϕ_f – объем. доля волокна
Прочность	$\uparrow \sim \phi_p$ ($0.0005 < \phi_p < 0.2$)	\uparrow с $\uparrow \phi_p$, у хрупких \downarrow с $\downarrow l_p$	$\uparrow \sim \phi_f$ ($0.01 < \phi_p < 0.9$)
Деформация ε	Текучность, при разрушении $\varepsilon_c = 0,1 - 15\%$	Текучность, пластичность, $\varepsilon_c = 0 - 30\%$	Зависит от свойств волокна, ориентации, ϕ_f
Вид материала	Изотропный	Изотропный	Анизотропный

Стёкла

- Основная масса стекол принадлежит к числу **оксидных** и в зависимости **от химического состава** подразделяется:
 - по виду оксида-стеклообразователя (силикатные SiO_2 , боратные B_2O_3 , фосфатные P_2O_5 , германатные GeO_2 , алюминатные Al_2O_3 , алюмосиликатные $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$, боросиликатные $\text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$, алюмоборосиликатные $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{B}_2\text{O}_3$ и др.);
 - по содержанию оксидов щелочных металлов (бесщелочные, не содержат оксидов щелочных металлов, но могут содержать оксиды щелочноземельных металлов MgO , CaO , BaO и др.; малощелочные; многощелочные).
- Производятся также:
 - галогенидные стекла, главным образом на основе BeF_2 (фторбериллатные стекла);
 - халькогенидные – на основе элементов VIb подгруппы (S, Se, Te).



а)



б)



Схема непрерывной структурной сетки
стекла:

а – кварцевого, б – натриево-силикатного

Ситаллы и микалексы

- **Ситаллы** – стеклокристаллические материалы, получаемые путем направленной кристаллизации стекла.
- Содержание кристаллической фазы в ситаллах, в зависимости от условий их получения, – от 30 до 95 %. Размер кристаллов обычно $\leq 1\div 2$ мм. Если свойства стекла в основном определяются его химическим составом, то для ситаллов решающее значение приобретают структура и фазовый состав. Электроизоляционные показатели ситаллов, как правило, превосходят показатели стекол того же химического состава: ситаллы имеют более высокие значения ρ , $E_{пр}$ и более низкий $tg\delta$.
- **Фотоситаллы** – ситаллы, получаемые в результате кристаллизации специальных светочувствительных стекол, до термообработки подвергнутых ультрафиолетовому облучению.
- **Микалекс** – композиционный материал, состоящий из стекла, наполненного слюдяным порошком. **Применение** – изоляционные детали мощных приборов, где важна

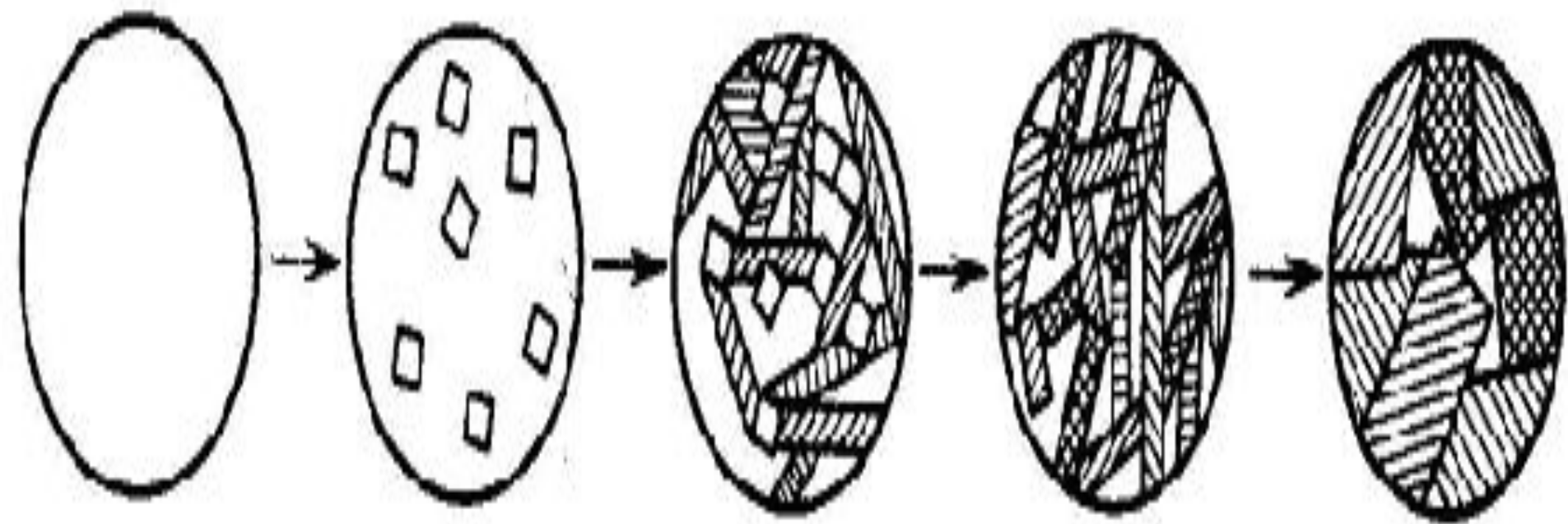


Схема кристаллизации стекла
при образовании ситаллов
с помощью катализаторов

Электрическая прочность твердых

диэлектриков

Наименование диэлектрика	$E_{пр}$, МВ/м
Асботекстолит	1,0-1,5
Гетинакс	12-35
Капрон	20
Лавсан	80-120
Микалекс	12-20
Полистирол	25-40
Полиуретан	20-25
Полиэтилен	45-55
Текстолит	2,2-25
Электрофарфор	20-30