

# Лекция 14

## Композиционные материалы

### Содержание

1. Структура композиционных материалов
2. Металломатричные композиты
3. Композиты на основе полимерной матрицы
4. Керамоматричные композиты
5. Углерод-углеродные композиты

# Введение.

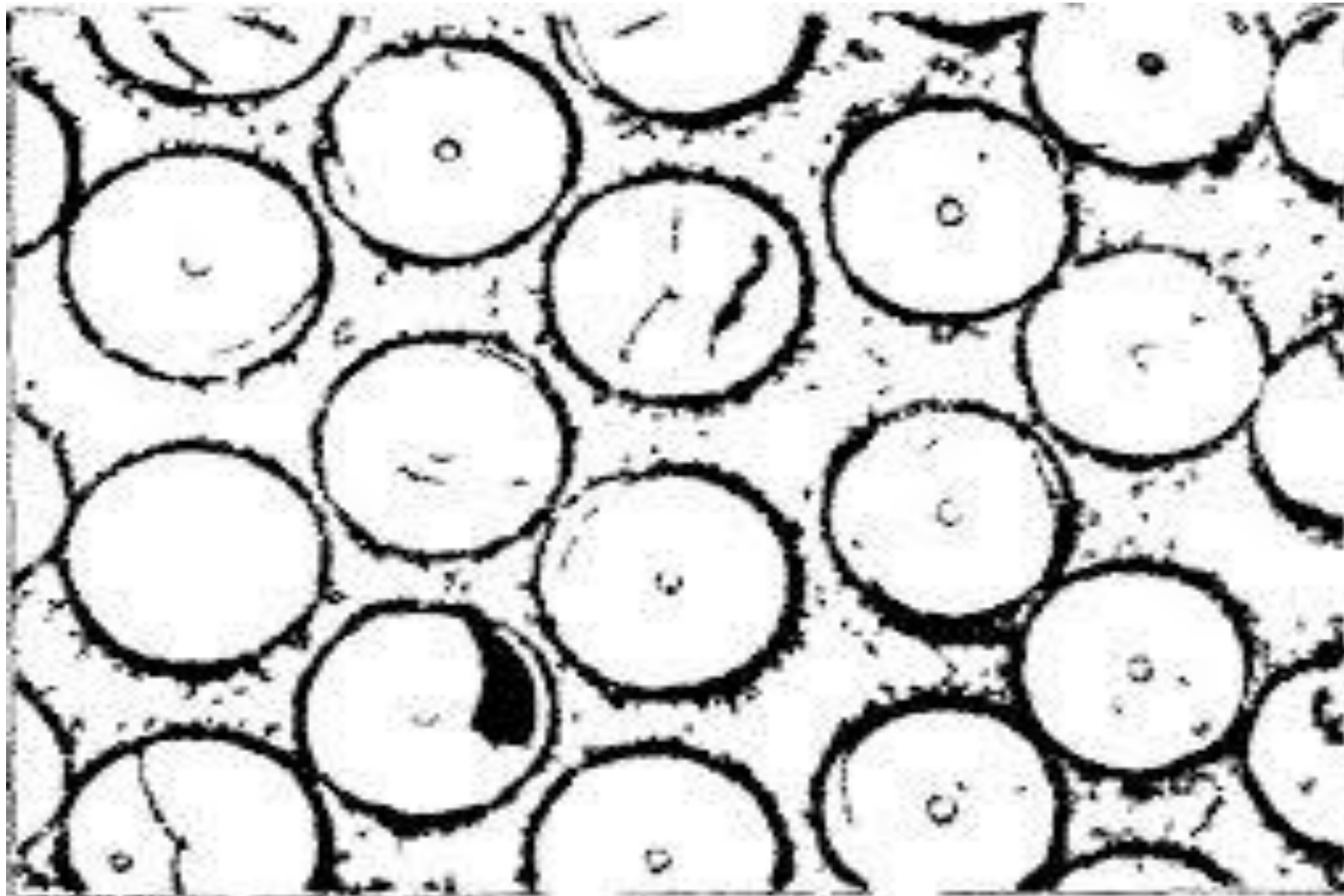
## Общие сведения о композиционных материалах

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ** (композиты) – многокомпонентные материалы, состоящие, как правило, из пластичной основы (матрицы), армированной наполнителями, обладающими высокой прочностью, жесткостью и т.д. Сочетание разнородных веществ приводит к созданию нового материала, свойства которого количественно и качественно отличаются от свойств каждого из его составляющих. Варьируя состав матрицы и наполнителя, их соотношение, ориентацию наполнителя, получают широкий спектр материалов с требуемым набором свойств. Многие композиты превосходят традиционные материалы и сплавы по своим механическим свойствам. Использование композитов обычно позволяет уменьшить массу конструкции при сохранении или улучшении ее механических характеристик.

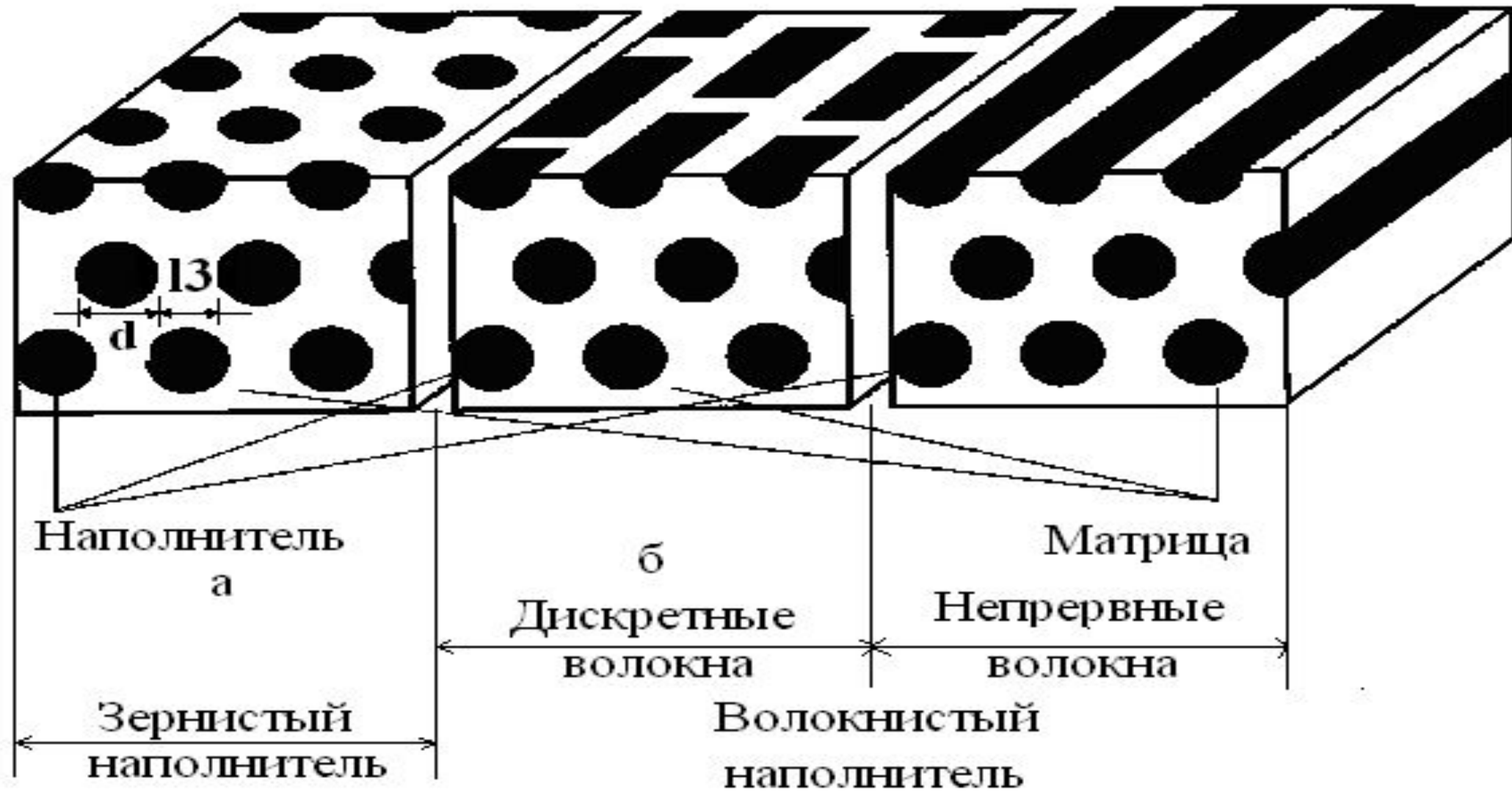
# Механические свойства волокон

<b>*№**</b>	<b>*Вид нити**</b>	<b>*Удельная плотность, г/см<sup>3</sup>**</b>	<b>*Упругость, GPa**</b>	<b>*Предел прочности, GPa**</b>	<b>*Разрывное удлинение %**</b>	<b>Энергия разрыва, Мj/м<sup>3</sup></b>
1	Шелк пауков	1,3	1–10	1,1 – 1,8	30	100–130
2	Шелк тутового шелкопряда	1,3	5	0,6	12	50
3	Полиамидное волокно Найлон 6,6	1,1	5	0,9	18	80
4	Kevlar 49тм – волокно ароматическ ого полиамида	1,4	130	3,6	3	50
5	Высокопрочн ая стальная нить	7,8	200	3	2	6

# Композиционный материал магний + бор

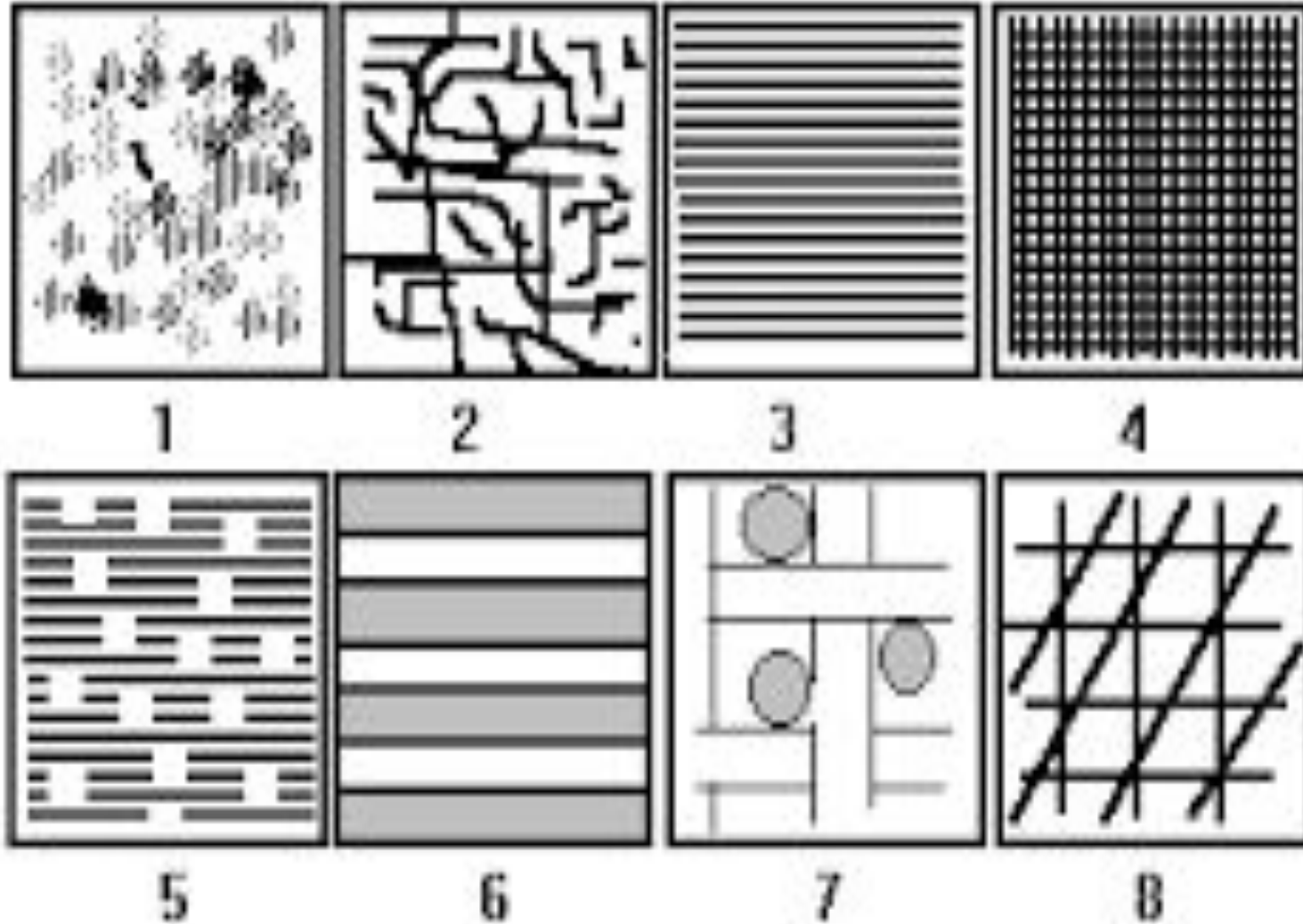


# Схемы структуры композита



# Классификация структур композитов

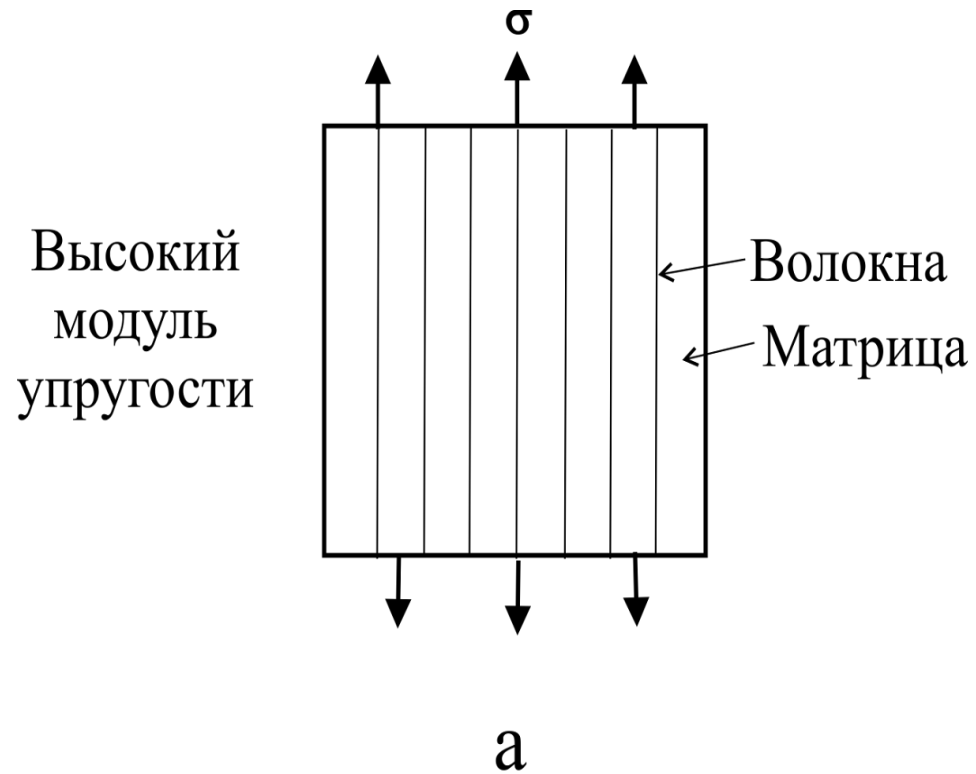
1 – хаотичные частицы, 2 – хаотичные волокна, 3- непрерывные направленные волокна, 4 – сетки (ткани), 5 – дискретные волокна, 6 – фольги, 7 – ортогональные непрерывные волокна, 8 – двумерные волокна.



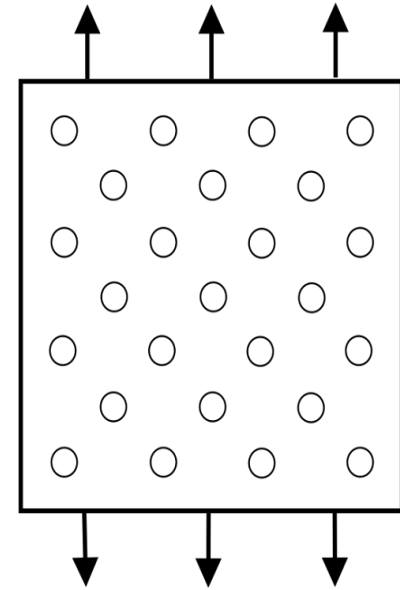
## Требования к композиции

Свойства композиций при армировании определяются свойствами матрицы и наполнителей в изделии и главным образом адгезией матрицы к их поверхности. Для изготовления прочных изделий необходимо создать требуемые ориентацию и степень напряжения всех армирующих элементов, что обеспечит их равномерное напряжение при работе; выбрать оптимальную форму и размеры армирующих элементов, позволяющих обеспечить максимальную удельную поверхность контакта с матрицей.

# Схема нагружения волокнистого композита вдоль (а) и поперек (б) волокон



б





## Зависимость модуля упругости композита от объемной доли волокнуистого наполнителя

Свойства композиционных материалов в основном определяются физико-химическими свойствами компонентов (матрицы и наполнителя), прочностью связи между ними и объемным соотношением матрицы и наполнителя.

Так, модуль упругости волокнуистого композита  $E_c$  при нагружении вдоль направления волокон описывается правилом смеси, представляющим собой линейную комбинацию модуля упругости волокон  $E_f$  и матрицы  $E_m$ :

$$E_c = E_f V_f + (1 - V_f) E_m,$$

где  $V_f$  – объемная доля волокнуистого наполнителя. Модуль упругости композита при нагружении в поперечном направлении описывается формулой:

$$E_c = [V_f / E_f + (1 - V_f) / E_m]^{-1}$$

# Металломатричные композиты

- **Композиты на металлической матрице** — это чистые металлы, либо сплавы на основе алюминия, магния, титана, армированные как волокнами, не подверженными пластической деформации (карбид кремния, окись алюминия, бор, углерод, нитевидные кристаллы тугоплавких соединений), так и пластически деформируемыми металлическими волокнами (бериллий, вольфрам, молибден, сталь). Первая группа обладает максимальной прочностью, сопротивлением усталости, жаропрочностью, а также — высокими удельными характеристиками вследствие низкой плотности наполнителей. Вторая группа — технологичностью при сравнительно небольших значениях прочности и модуля упругости.
- Металлическая матрица существенно повышает упругость и прочность композита, сохраняя эти свойства почти до своей температуры плавления. Кроме того, металлические композиты обладают лучшей работоспособностью в вакууме и в условиях облучения, а также пониженной воспламеняемостью. Недостатки металлической матрицы — большой удельный вес, трудоемкость изготовления

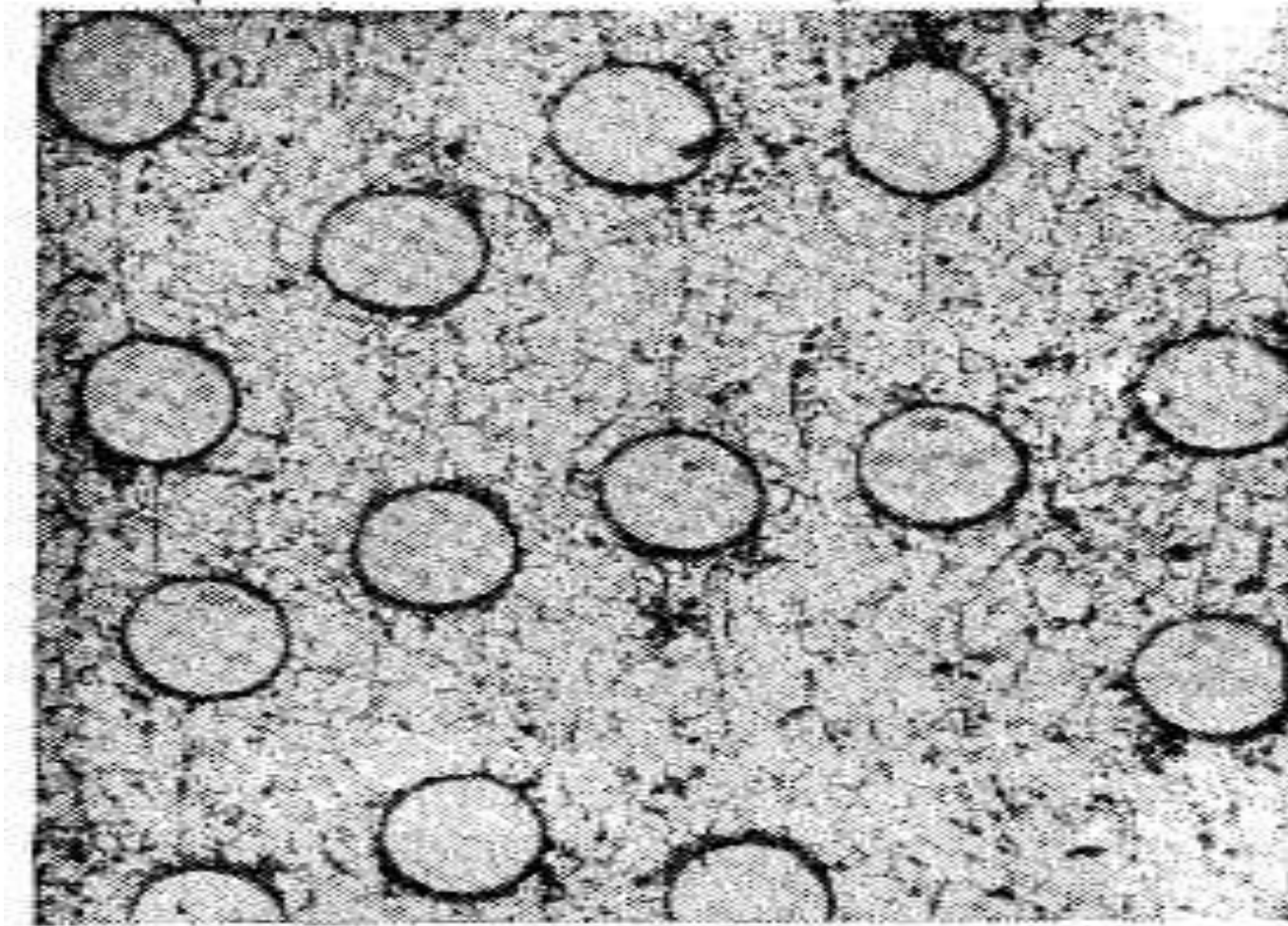
## Свойства спеченых алюминиевых порошков

Материал	Содержание $\text{Al}_2\text{O}_3$ , %	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %
САП-1	6-8	300	220	7
САП-2	9-12	350	280	5
САП-3	13-17	400	320	3
САП-4	18-22	450	370	1,5

# Волокнистые металломатричные композиты

- Упрочнителями служат волокна или нитевидные кристаллы В, С,  $Al_2O_3$ , Si и др., а также проволока из металлов и сплавов: Мо, W, Be, высокопрочная сталь. Объемная доля упрочнителя колеблется в широких пределах: от нескольких единиц до 80-90%. В качестве матриц для металлических композиционных материалов используют металлы: Al, Mg, Ti, Ni и сплавы на их основе.
- Прочность композиционных материалов в большой степени зависит от прочности сцепления волокон наполнителя с матрицей. Для улучшения сцепления, проводят вискеризацию поверхности волокон, т.е. на поверхности углеродных, борных и других волокон перпендикулярно их длине выращивают монокристаллы карбида кремния SiC. Полученные таким образом "мохнатые" волокна называют "борсик". Вискеризация повышает сдвиговую прочность в 1,5-2 раза. Изготавливают композиционные волокнистые материалы сваркой взрывом, прокаткой в вакууме, диффузионном спеканием.

# Волокнистый металломатричный композит титан+молибден



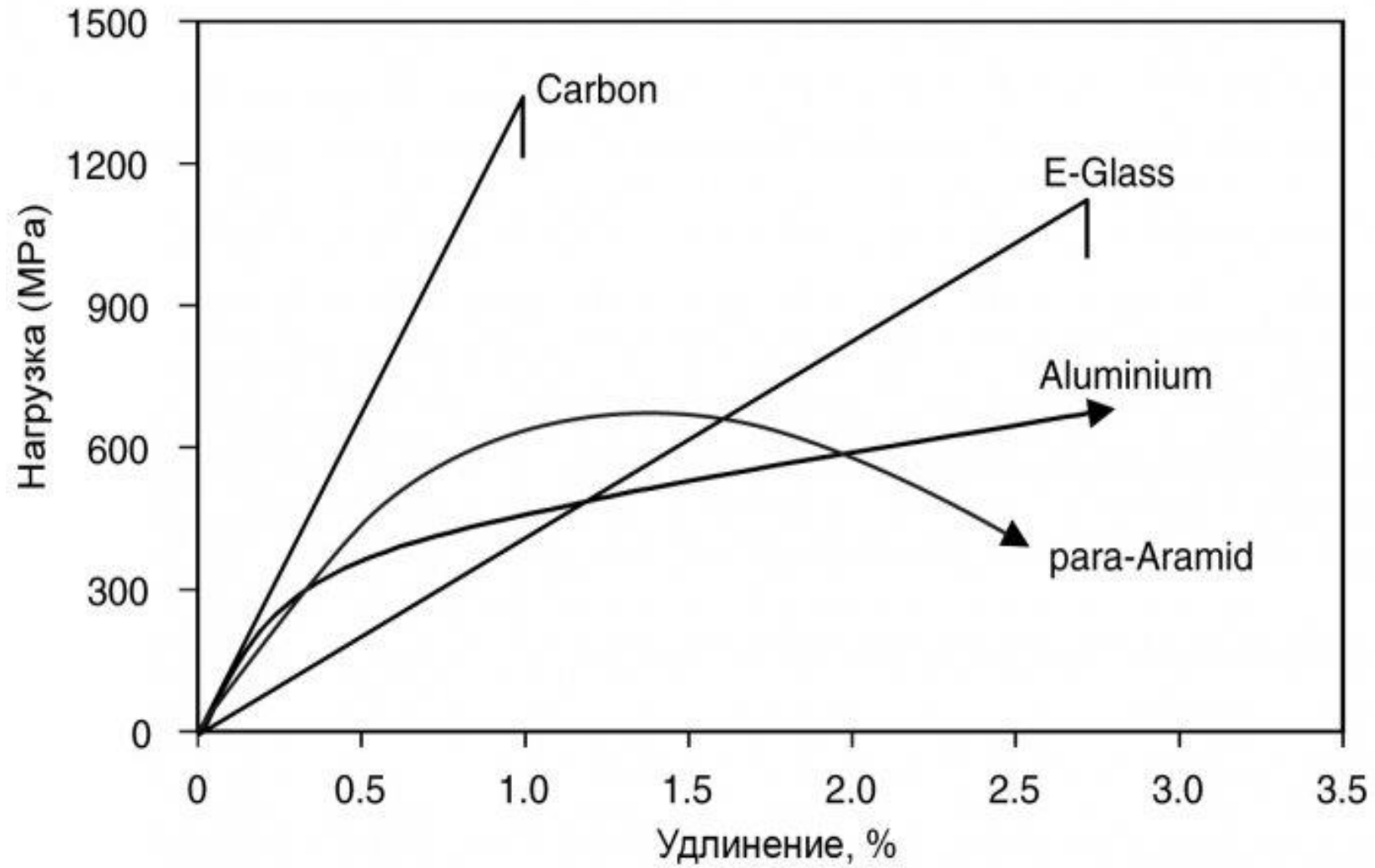
## Композиты на основе полимерной матрицы

- Преимуществом являются: хорошая технологичность, низкая плотность и часто высокие удельная прочность и жесткость, высокая коррозионная стойкость.
- Недостатки же для большинства композиционных материалов на неметаллической основе характерны следующие: низкая прочность связи волокна с матрицей, резкое падение прочности при повышении температуры выше 100-200°C.
- В качестве материала матрицы наибольшее распространение получили полимеры: эпоксидная, фенолоформальдегидная, полиамидная смолы.
- В качестве наполнителей используются углеродные, борные, стеклянные и органические волокна в виде нитей, жгутов, лент и т.д. По типу волокна композиционные материалы разделяют на следующие группы: углеволокниты, бороволокниты,

# Структура стеклопластика



# Диаграммы растяжения волокнистых композитов на эпоксидной основе





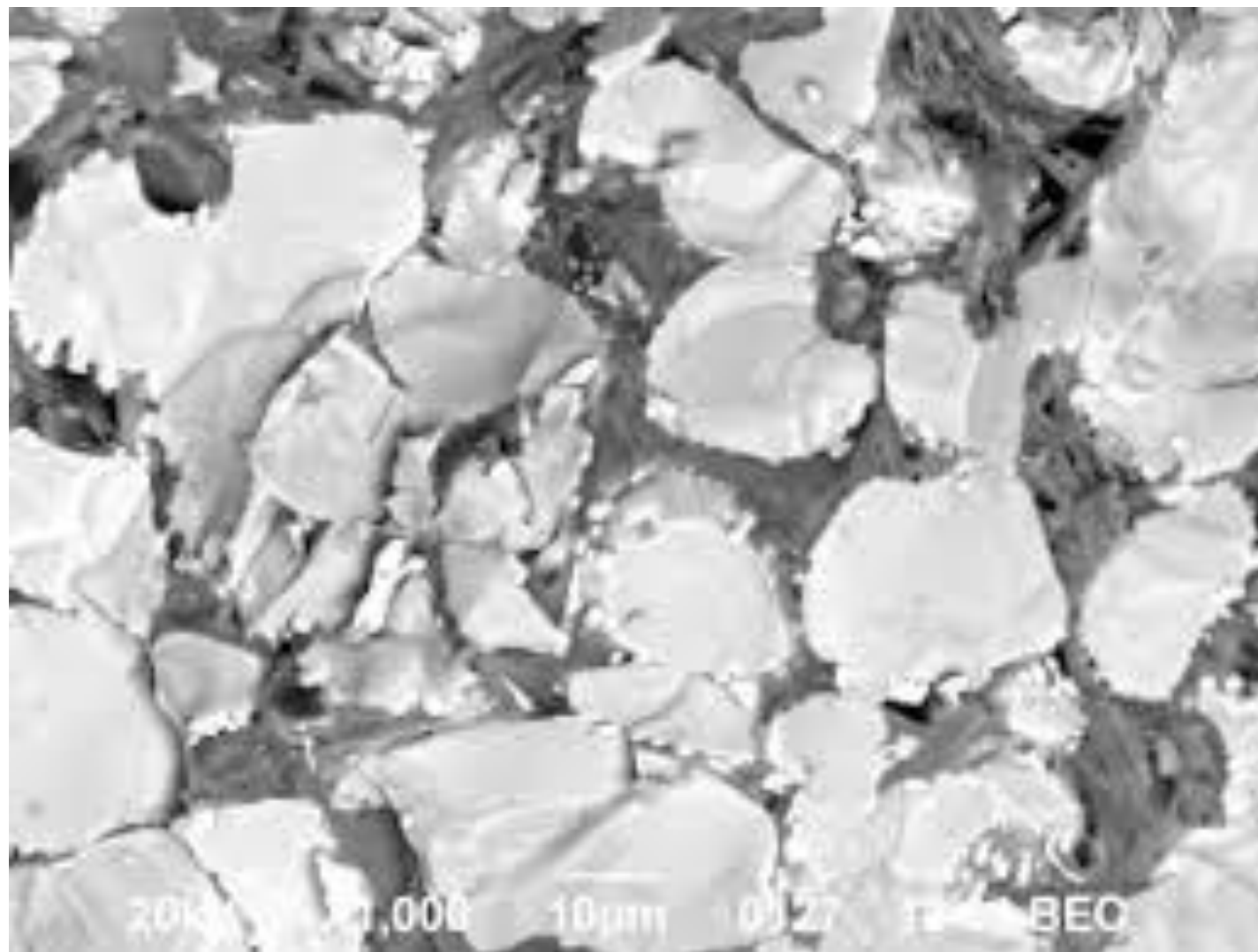
# Механические свойства композитов на основе полимеров

Материал	плотность $\rho, \text{T/m}^3$	прочность $\sigma_B, \text{МПа}$	уд. прочность $\sigma_B / \rho, \text{км}$	$\delta, \%$
Карбоволокниты КМУ	1,3-1,5	600-1000	40-70	0,4-0,6
Бороволокниты КМБ	2,0	900-1300	40-65	0,4
Органоволокниты	1,15-1,4	200-700	15-50	2-20
Стекловолокниты	2,2	2100	96	

# Керамоматричные композиты

- Керамоматричные композиционные материалы (КМК) представляют собой материал, состоящий из керамической матрицы, армированной углеродными волокнами.
- КМК сочетают в себе трибологические свойства технической керамики, но при этом обладают высокой ударной прочностью, нехрупким характером разрушения и высокой устойчивостью к дефектам микроструктуры и различным напряжениям, возникающим при изготовлении и эксплуатации изделия. Изделия из КМК отличаются от традиционных керамик высокой надежностью и возможностью эксплуатации при вибрационных и ударных
- **Области применения.** Крупногабаритные и тонкостенные вставки для трибологических узлов (подшипники скольжения погружных насосов, линейных шаговых приводов) работающих в различных агрессивных средах при повышенных температурах и вибрационных нагрузках.  
Торцовые уплотнения, детали клапанов и запорной арматуры добывающего и перекачивающего оборудования для

# Керамика $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiB}_2$



# Углерод-углеродные композиты (УУМК)

УУКМ содержат в себе углеродный формирующий элемент в виде дискретных волокон, непрерывных нитей или жгутов, лент, тканей с плоским и объемным плетением, объемных каркасных структур. Волокна располагаются неупорядоченно в одном, двух и трех направлениях.

**Углеродная матрица** объединяет в одно целое формирующие элементы в композите, что позволяет лучшим образом воспринять различные внешние нагрузки. К количеству специальных свойств УУКМ относятся низкая пористость, низкий коэффициент термического расширения, сохранение структуры и свойств при нагреве до 2000 °С.

Преимущества УУКМ позволяют успешно их применять в качестве тормозных дисков в самолетах, соплах ракетных двигателей, защиты крыльев космических челноков, пресс-формах, тиглях, роторах турбин.

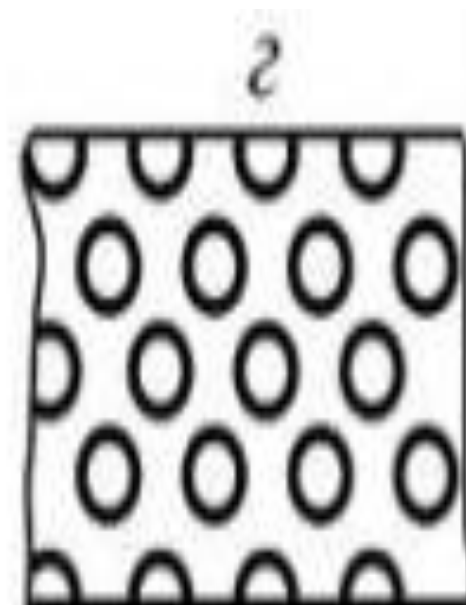
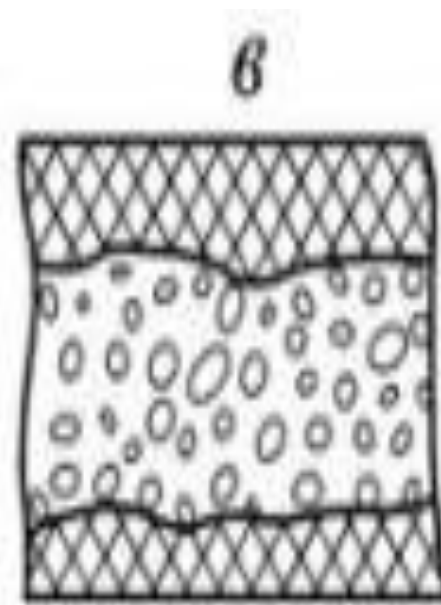
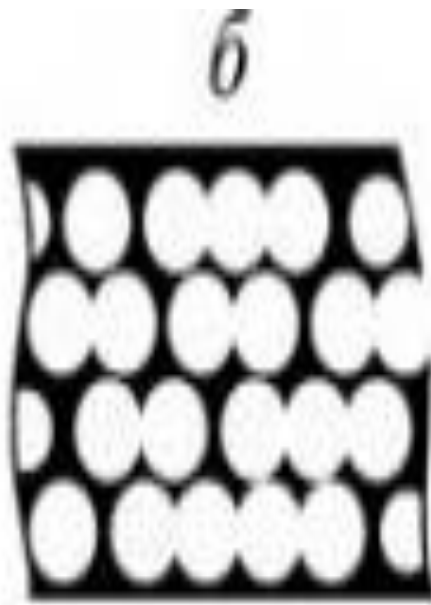
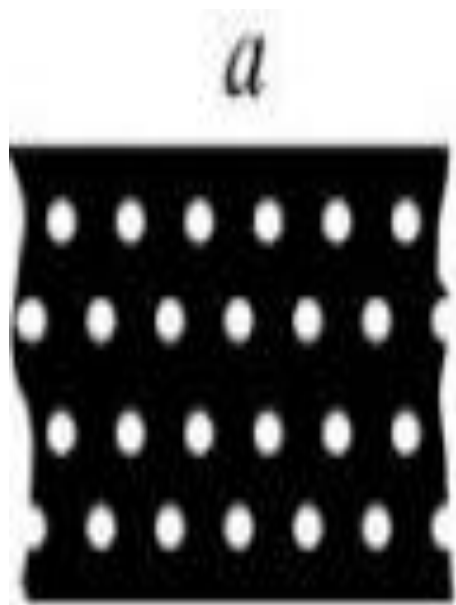
## Газонаполненные полимерные композиты

Газонаполненные полимеры подразделяются на пенопласты, поропласты, интегральные и синтактные пены.

Различают газонаполненные пластмассы с замкнуто-ячеистой структурой (пенопласты) и открыто-пористой структурой (поропласты), в к-рых элементарные ячейки или поры сообщаются между собой и с окружающей атмосферой.

У интегральных пен наружные слои материала являются монолитными, а внутренние имеют ячеистую структуру (в). Особое место занимают синтактные пены (г). Они имеют закрытопористую структуру, но ячейки созданы не путем вспенивания полимера выделяющимся в процессе формования изделия газом, а с помощью мелких полых шариков (стеклянных или полимерных), которые смешиваются с жидкой полимерной композицией, сохраняя свои форму и размеры.

Структура газонаполненных полимерных композитов.  
а – пенопласт, б – поропласт, в – интегральная пена, г – синтактическая пена



# Свойства некоторых композитов

Материал	Е, ГПа	$\rho$ , кг/см <sup>3</sup>	$\sigma_B$ , МПа	$K_{1C}$ , МПа/м <sup>3/2</sup>	Е/ $\rho$
Углепластик, 58%, однонаправленный, Эпоксид. матрица.	189	1,5	1050	30- 40	126
Стеклопластик, 50%, однонаправленный, полиэфир. матрица.	48	2,0	1240	40 - 60	24
Кевлар, 60% эпоксид, матрица.	76	1,4	1240	--	54
Сталь	210	7,8	1000	100	27
Алюм. спл	70	2,7	500	28	25

## Заключение

Таким образом, композиционные материалы отличаются тем, что их свойства можно изменять в соответствии с инженерной задачей. Разумеется, жесткость, прочность и вязкость композита зависят от типа и объемной доли наполнителя. Однако можно двигаться дальше, укладывая волокна или слои наполнителя в определенных направлениях, упрочняя материал и изменяя жесткость в различных областях изделия. Вследствие такого управления свойствами композиты являются незаменимыми материалами для нужд любого вида транспорта.