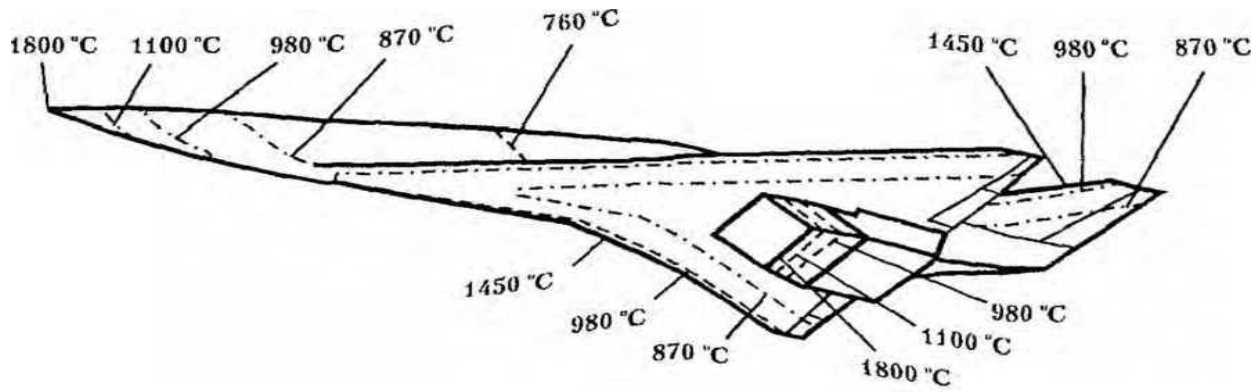
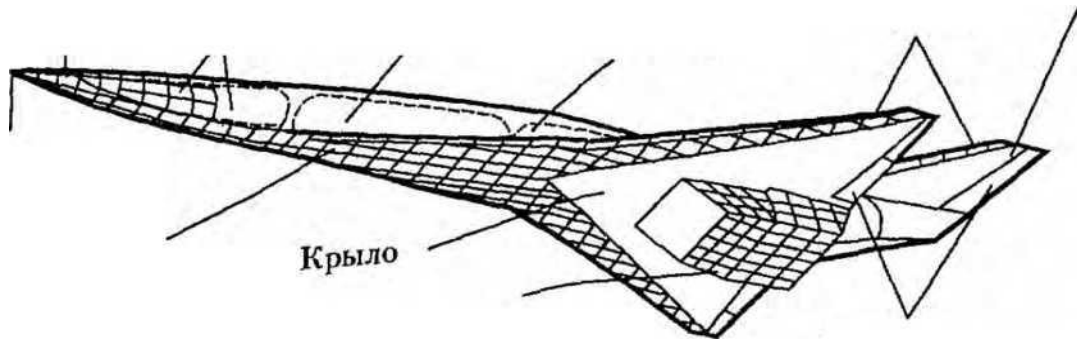




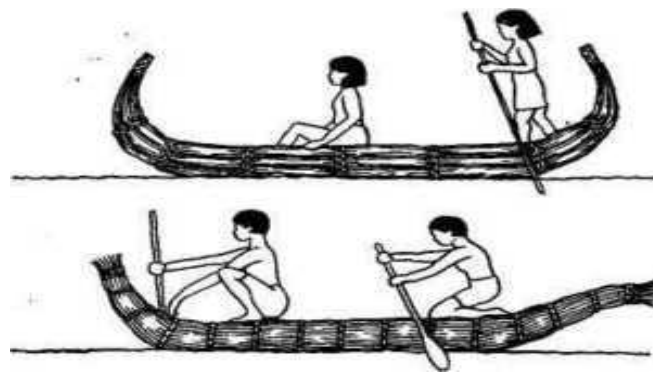
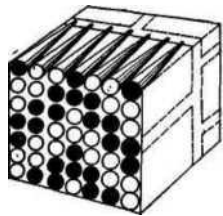
# **КОМПОЗИТЫ КАК МАТЕРИАЛЫ КОНСТРУКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**Лекция 1**

**Естемесова А.С.**



6



# ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

- ? Композиционный материал - это материалы, состоящие из двух или более компонентов (армирующих элементов и скрепляющей их матрицы) и обладающие свойствами, отличными от суммарных свойств компонентов. При этом предполагается, что компоненты, входящие в состав композита, должны быть хорошо совместимыми и не растворяться или иным способом поглощать друг друга. В широком смысле композиционный материал – это любой материал с гетерогенной структурой, т. е. со структурой, состоящей минимум из двух фаз.
- ? К композитам относятся материалы, обладающие рядом признаков:
- ? 1) состав, форма и распределение компонентов материала «запроектированы заранее»;
- ? 2) материал не встречается в природе, а создан человеком;
- ? 3) материал состоит из двух или более компонентов, различающихся по химическому составу и разделенных выраженной границей;
- ? 4) свойства материала определяются каждым из его компонентов, которые в связи с этим должны присутствовать в достаточно больших количествах (больше некоторого критического содержания);
- ? 5) материал обладает такими свойствами, которых не имеют его компоненты, взятые в отдельности;
- ? 6) материал неоднороден в микромасштабе и однороден в макромасштабе. (По мнению К.И. Портного и др., шестой признак не позволяет отнести к КМ биметаллы и материалы с покрытиями, поскольку в макромасштабе они не являются однородными)

# КЛАССИФИКАЦИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

- ? Композиционные материалы делятся на:
- ? полимерные (ПКМ),
- ? металлические (МКМ),
- ? керамические (ККМ),
- ? углерод-углеродные (УУКМ)
- ? гибридные (ГКМ). ( Гибридные композиты представляют собой материалы с матрицей смешанного типа)



Рис. 1.2. Классификация композиционных материалов

# КЛАССИФИКАЦИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

- ? В основу классификации КМ, предложенной К.И. Портным и др., положены три признака:
- ? 1) геометрия компонентов композиционных материалов;
- ? 2) пространственное расположение компонентов (схема армирования);
- ? 3) природа компонентов композиционных материалов.



# КЛАССИФИКАЦИЯ КМ ПО ГЕОМЕТРИИ КОМПОНЕНТОВ

- ? По геометрии компонентов КМ подразделяются на три основные группы:
- ? 1) материалы с нульмерными компонентами;
- ? 2) материалы с одномерными компонентами;
- ? 3) материалы с двумерными компонентами.

Наименование компонента	Геометрия компонента	Соотношение размеров
Нуль-мерный		$\frac{r_1}{L} \ll 1; \frac{l_2}{L} \ll 1; \frac{l_3}{L} \ll 1$
Одномерный		$\frac{l_1}{L} \sim 1; \frac{l_2}{L} \ll 1; \frac{l_3}{L} \ll 1$
Двухмерный		$\frac{l_1}{L} \sim 1; \frac{l_2}{L} \ll 1; \frac{l_3}{L} \sim 1$

Рис. 1.3. Классификация композиционных материалов по геометрии компонентов

# КЛАССИФИКАЦИЯ КМ ПО ГЕОМЕТРИИ КОМПОНЕНТОВ

- ? Классификация КМ по данному признаку основана на понятии элементарного образца КМ, т. е. такого минимального объема материала, который характеризуется всем комплексом основных признаков КМ.
- ? В КМ с нульмерными компонентами все три размера компонента являются величинами одного и того же порядка. Нульмерные компоненты не имеют ни одного размера, соизмеримого с характерным размером элементарного образца КМ. В качестве примеров композитов такого типа можно привести дисперсно-упрочненные сплавы, металлы и сплавы, армированные частицами и материалы на основе керамики, содержащие короткие нитевидные кристаллы, длина которых много меньше характерного размера элементарного образца.
- ? КМ с одномерными компонентами содержат армирующие компоненты, один из размеров которых значительно превышает два других размера и соизмерим с характерным размером элементарного образца КМ. Примеры КМ этой группы: волокнистые композиционные материалы на основе металлов и полимеров, армированные керамическими, борными, углеродными, стеклянными волокнами.
- ? КМ с двумерными компонентами содержат компоненты, имеющие два размера, значительно превосходящие третий размер и соизмеримые с характерным размером элементарного образца КМ. Примерами композиционных материалов этой группы являются слоистые КМ, состоящие из чередующихся слоев титана и алюминия и их сплавов.



# КЛАССИФИКАЦИЯ КМ ПО ГЕОМЕТРИИ КОМПОНЕНТОВ

- ? Для обозначения нульмерных, одномерных и двумерных компонентов приняты соответствующие индексы: 0\*, 1 и 2.
- ? Кроме КМ с нульмерными, одномерными и двухмерными компонентами созданы комбинированные КМ, содержащие два или три компонента различной размерности. Примером такого КМ может служить пластик на основе эпоксидной смолы, армированный углеродными волокнами (одномерный компонент) и короткими нитевидными кристаллами карбида кремния (нульмерный компонент).





# КЛАССИФИКАЦИЯ КМ ПО РАСПОЛОЖЕНИЮ КОМПОНЕНТОВ

- ? По расположению компонентов, т. е. по схеме армирования КМ делятся на три группы :
- ? 1. КМ с одноосным (линейным) расположением армирующего компонента. В этих КМ армирующие компоненты в виде волокон или ориентированных цепочек нитевидных кристаллов располагаются в матрице параллельно друг другу, что достигается с помощью нульмерных или одномерных компонент. Обозначение этой схемы следующее:  $0^*:0:0$  и  $1:0:0$  (нульмерный  $0^*$  или одномерный компонент расположен вдоль оси  $x$ ).
- ? 2. КМ с двухосным (плоскостным) расположением армирующего компонента. Армирующие компоненты в виде волокон, фольг, матов из нитевидных кристаллов расположены в матрице в плоскостях, параллельных друг другу. Такая схема армирования создается с помощью нульмерных, одномерных или двумерных компонентов и обозначается  $0^*:0^*:0$ ,  $1:1:0$  и  $2:2:0$  соответственно (компоненты расположены в плоскостях  $xy$ ).
- ? 3. КМ с трехосным (объемным) расположением компонентов. В этой схеме армирования невозможно выделить одно или два преимущественных направления в материале. Такая схема может быть реализована с помощью нульмерных ( $0^*:0^*:0^*$ ) или одномерных ( $1:1:1$ ) компонентов.
- ? Для комбинированных КМ, т. е. материалов, армированных одновременно компонентами различной размерности, возможны следующие сочетания компонентов:  $0^*+1$ ;  $0^*+2$ ;  $1+2$ ;  $0^*+1+2$ .



# КЛАССИФИКАЦИЯ КМ ПО РАСПОЛОЖЕНИЮ КОМПОНЕНТОВ

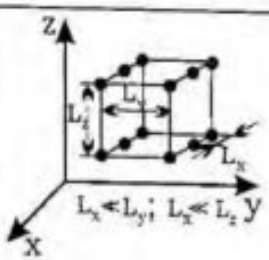
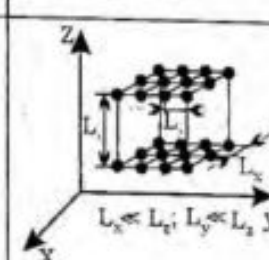
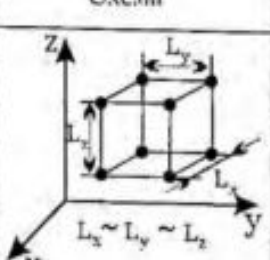
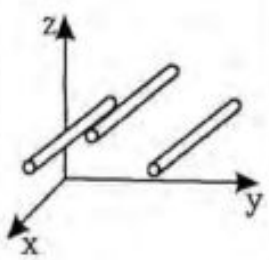
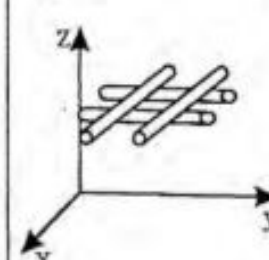
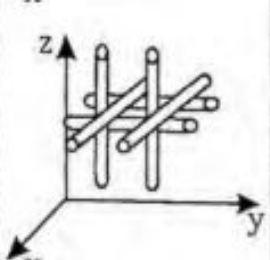
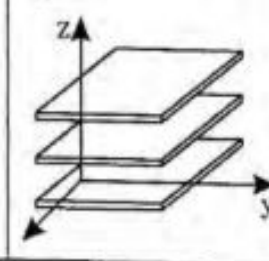
Геометрия компонента		Расположение компонентов					
		Одноосное (линейное)		Двухосное (плоскостное)		Трёхосное (объёмное)	
Наименование	Обозначение	Схема	Обозначение	Схема	Обозначение	Схема	Обозначение
Нульмерный	0.	 $L_x < L_y, L_x < L_z, y$	0.:0:0	 $L_x < L_z, L_y < L_z, y$	0.:0:0	 $L_x \sim L_y \sim L_z, y$	0.:0.:0.
Одномерный	1		1:0:0		1:1:0		1:1:1
Двухмерный	2	—	—		2:2:0	—	—

Рис. 1.4. Классификация композиционных материалов по расположению компонентов (по схеме армирования)

# Классификация КМ по расположению компонентов

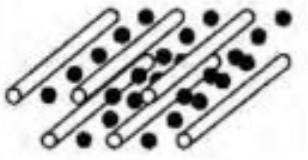

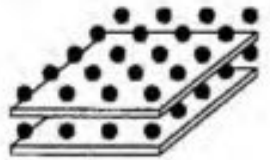

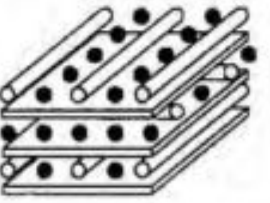
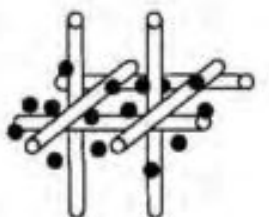
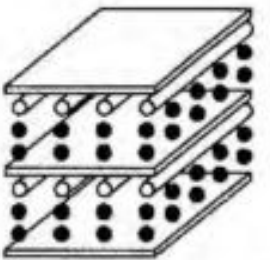
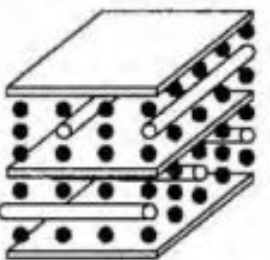
Расположение компонента	Комбинация компонентов			
	0,+1	0,+2	1+2	0,+1+2
Одноосное		—	—	—
Двухосное				
Трехосное			—	

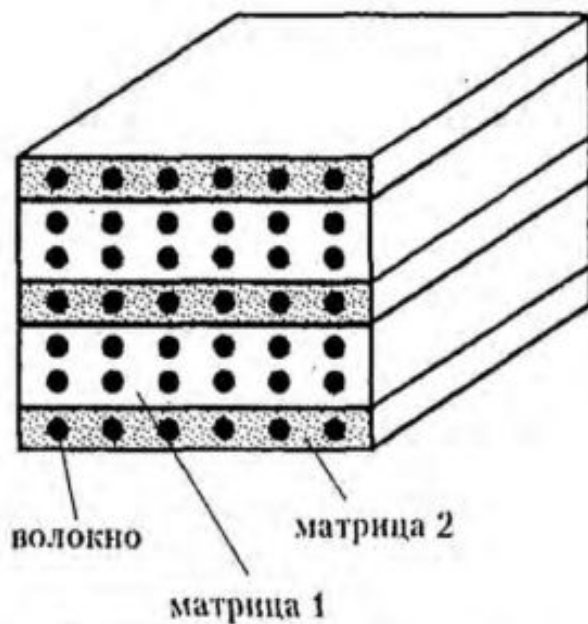
Рис. 1.5. Классификация комбинированных композиционных материалов по видам сочетаний и расположению компонентов

# КЛАССИФИКАЦИЯ КМ ПО ПРИРОДЕ КОМПОНЕНТОВ

- ? По природе компонентов КМ делятся на группы по количеству компонентов (например, на две группы – по природе матрицы и по природе армирующего компонента). Каждая группа, в свою очередь, делится на четыре подгруппы, имеющие компоненты из:
  - ? – металлов и сплавов;
  - ? – неметаллических материалов (например, углерода);
  - ? – неорганических соединений (окислов, карбидов, нитридов и т.п.);
  - ? – органических соединений.

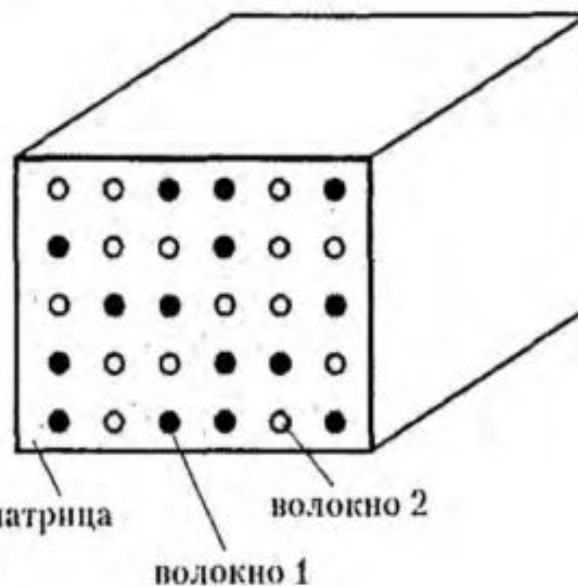
В соответствии с этим признаком композиционный материал углерод-углерод относится по природе матрицы к группе КМ с матрицей из неметаллических элементов, по природе армирующего компонента – к группе КМ со вторым компонентом из неметаллических элементов. Углепластики относятся по природе матрицы к группе КМ с матрицей из органических соединений, по природе армирующего компонента – к группе КМ со вторым компонентом из неметаллических элементов. Дополнениями к рассмотренным группам являются полиматричные и полиармированные КМ. Полиматричные КМ состоят из чередующихся слоев двух или более КМ с матрицами различного химического состава. Полиармированные КМ содержат два или более различных по составу армирующих компонента, равномерно распределенных в матрице. Полиармированные КМ могут быть «простыми», если содержат армирующие компоненты различной природы, но одинаковой размерности, и комбинированными, если содержат армирующие компоненты различной размерности и различной природы. Например, стеклоуглепластик является простым полиармированным КМ, а бороалюминий с прослойками из титановой фольги – комбинированным полиармированным КМ.

# КЛАССИФИКАЦИЯ КМ ПО ПРИРОДЕ КОМПОНЕНТОВ



В полиматричном материале  
имеется два типа матриц  
(или более)

*a*



В полностью армированном материале  
имеется два типа волокон  
(или более)

*b*

Рис. 1.6. Примеры композиционных материалов:

*a* – полиматричный; *b* – полностью армированный

# КЛАССИФИКАЦИЯ КМ ПО МАТЕРИАЛУ МАТРИЦЫ (МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЙ ПРИНЦИП)

- ? Общее название КМ, как правило, происходит от материала матрицы. КМ с металлической матрицей называют металлическими композиционными материалами (МКМ), с полимерной матрицей – полимерными композиционными материалами (ПКМ), с неорганической – неорганическими композиционными материалами. КМ, содержащие два и более различных по составу матричных материала, называют полиматричными. Название полимерных КМ обычно состоит из двух частей. В первой части называется материал волокна, во второй приводится слово «пластик», или «волокнит». Например, ПКМ, армированные стекло - волокном, называются стеклопластиками, или стекловолокнитами. Если при изготовлении ПКМ использовали металлические волокна, КМ называют металлопластиком (металловолокнитом). Соответственно композиционные материалы носят такие названия, как органо-пластики (органоволокниты), боропластики (бороволокниты), угле-пластики (углеволокниты), асбопластики (асбоволокниты). Для характеристики металлических композиционных материалов чаще используют двойное обозначение: вначале пишут материал матрицы, затем – материал волокна. Например, обозначение медь-вольфрам (Cu-W) соответствует композиционному материалу, в котором матрицей является медь, а волокнами – вольфрам. Для неорганических КМ характерно такое же обозначение, как и для МКМ, т. е. в двойном наименовании первое слово относится к матрице, а второе к волокну.



# КЛАССИФИКАЦИЯ КМ ПО ГЕОМЕТРИИ АРМИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

- ? В соответствии с геометрией армирующих элементов (порошки или гранулы, волокна, пластины) КМ делятся на порошковые (гранулированные), волокнистые и пластинчатые. К первой группе относят дисперсно-упрочненные КМ, ко второй – КМ, армированные непрерывными и дискретными волокнами, например композиция алюминий-борные волокна. К третьей группе относятся КМ, армированные непрерывными и дискретными пластинами, например слоистые КМ, состоящие из чередующихся фольг стали, алюминия и титана.



# КЛАССИФИКАЦИЯ КМ ПО СТРУКТУРЕ И РАСПОЛОЖЕНИЮ КОМПОНЕНТОВ

- ? По структуре и расположению компонентов КМ делятся на группы с каркасной, матричной, слоистой и комбинированной структурой. К КМ с каркасной структурой относятся, например, псевдосплавы, полученные методом пропитки. Матричную структуру имеют дисперсно-упрочненные и армированные КМ. К материалам со слоистой структурой относятся композиции, полученные из набора чередующихся фольг или листов материалов различной природы или состава.
- ? Комбинированную структуру имеют материалы, содержащие комбинации первых трех групп. Например, псевдосплавы, каркас которых упрочнен дисперсными включениями, относятся к КМ, сочетающим каркасную и матричную структуры.





# КЛАССИФИКАЦИЯ МАТРИЧНЫХ КМ ПО СХЕМЕ АРМИРОВАНИЯ (КОНСТРУКЦИОННЫЙ ПРИНЦИП)

- ? По ориентации и типу арматуры все КМ можно разделить на две группы – изотропные и анизотропные. Изотропными называют материалы, которые имеют одинаковые свойства (например, прочностные) во всех направлениях. Свойства анизотропных материалов зависят от направления в исследуемом объекте. Анизотропия КМ конструкционна, ее специально предусматривают при проектировании материала для того, чтобы обеспечить необходимый уровень свойств изделия. КМ с матричной структурой делятся на хаотично-армированные и упорядоченно-армированные. Хаотично-армированные КМ содержат армирующие элементы в виде дисперсных включений, дискретных или непрерывных волокон. Эти материалы являются изотропными или квазиизотропными. Термин «квазиизотропный» означает, что КМ является анизотропным в микрообъеме, но изотропным в объеме всего изделия. Упорядоченно-армированные КМ подразделяются на однонаправленные, т. е.:
- ? одноосно-армированные
- ? двухосно-армированные (с плоскостным расположением арматуры)
- ? трехосно-армированные (с объемным расположением арматуры).



# КЛАССИФИКАЦИЯ МАТРИЧНЫХ КМ ПО СХЕМЕ АРМИРОВАНИЯ (КОНСТРУКЦИОННЫЙ ПРИНЦИП)

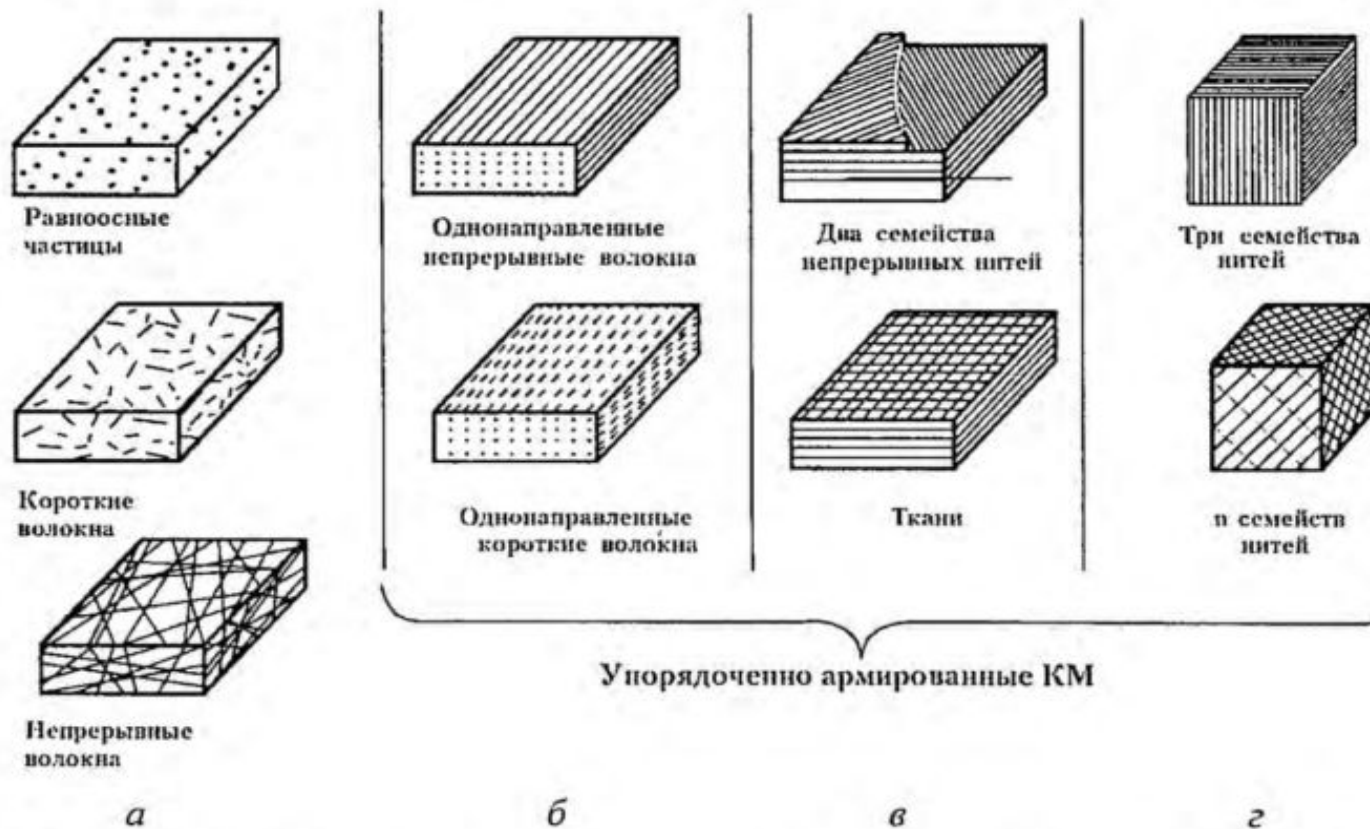


Рис. 1.7. Классификация композиционных материалов по конструктивному признаку: хаотично-, одномерно- и пространственно армированные КМ (*a* – *г* соответственно)



# КЛАССИФИКАЦИЯ КМ ПО МЕТОДАМ ПОЛУЧЕНИЯ (ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП)

- ? В соответствии с этой классификацией КМ делятся на материалы, полученные жидкофазными и твердофазными методами, а также методами осаждения – напыления, комбинированными методами.
- ? К жидкофазным методам относятся пропитка (пропитка арматуры полимерами или расплавленными металлами) и направленная кристаллизация сплавов.
- ? К твердофазным методам получения КМ относятся прокатка, экструзия, ковка, штамповка, уплотнение взрывом, диффузионная сварка, волочение и др.
- ? Композиционные материалы, получаемые твердофазными методами, используются в виде порошка или тонких листов. Композиционные материалы, заготовка которых представляет набор чередующихся слоев матрицы в виде тонких листов (фольг) и армирующих элементов, уложенных в заданной последовательности, иногда называют композициями типа сэндвича.
- ? При получении КМ методами осаждения – напыления матрица наносится на волокна из растворов солей или других соединений, из парогазовой фазы, из плазмы и т.п.
- ? Комбинированные методы заключаются в последовательном или параллельном применении нескольких методов. Например, в качестве предварительной операции может использоваться плазменное напыление, а в качестве окончательной операции – прокатка или диффузионная сварка.

# КЛАССИФИКАЦИЯ КМ ПО НАЗНАЧЕНИЮ (ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ ПРИНЦИП)

- ? Классификация КМ по назначению достаточно условна, поскольку часто композиты являются многофункциональными материалами. Тем не менее среди множества КМ выделяют материалы:
  - ? общеконструкционного назначения (несущие конструкции судов, самолетов, автомобилей, строительные конструкции и др.),
  - ? жаропрочные материалы (лопатки турбин самолетов, камеры сгорания, жаропрочные строительные материалы),
  - ? термостойкие материалы (изделия, работающие в условиях частых теплосмен),
  - ? фрикционные материалы (тормозные колодки, термостойкие материалы),
  - ? антифрикционные материалы (подшипники скольжения),
  - ? ударопрочные материалы (броня самолетов, танков, строительные высокопрочные КМ),
  - ? теплозащитные материалы, материалы со специальными свойствами (магнитными, электрическими и т.п.).

