

УПРАВЛЯЕМЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СИСТЕМЫ

Кучерюк Виктор Иванович

КОСМОС

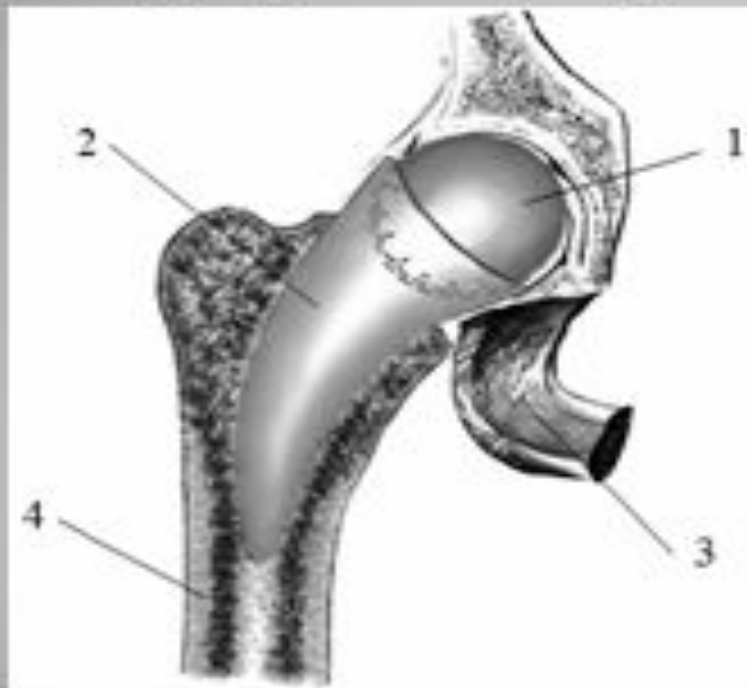


Авиация



Медицина

Эндопротез тазобедренного сустава человека

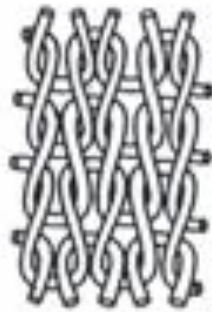
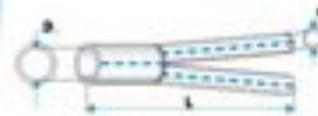
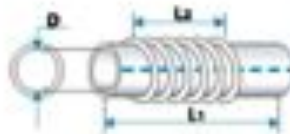


- 1 – резино-металлический шар;
- 2 – ножка эндопротеза с приемной чашей;
- 3 – тазовая кость;
- 4 – бедренная кость.

Разработка 3 (патент)

Медицина

Протезы кровеносных сосудов



a



b



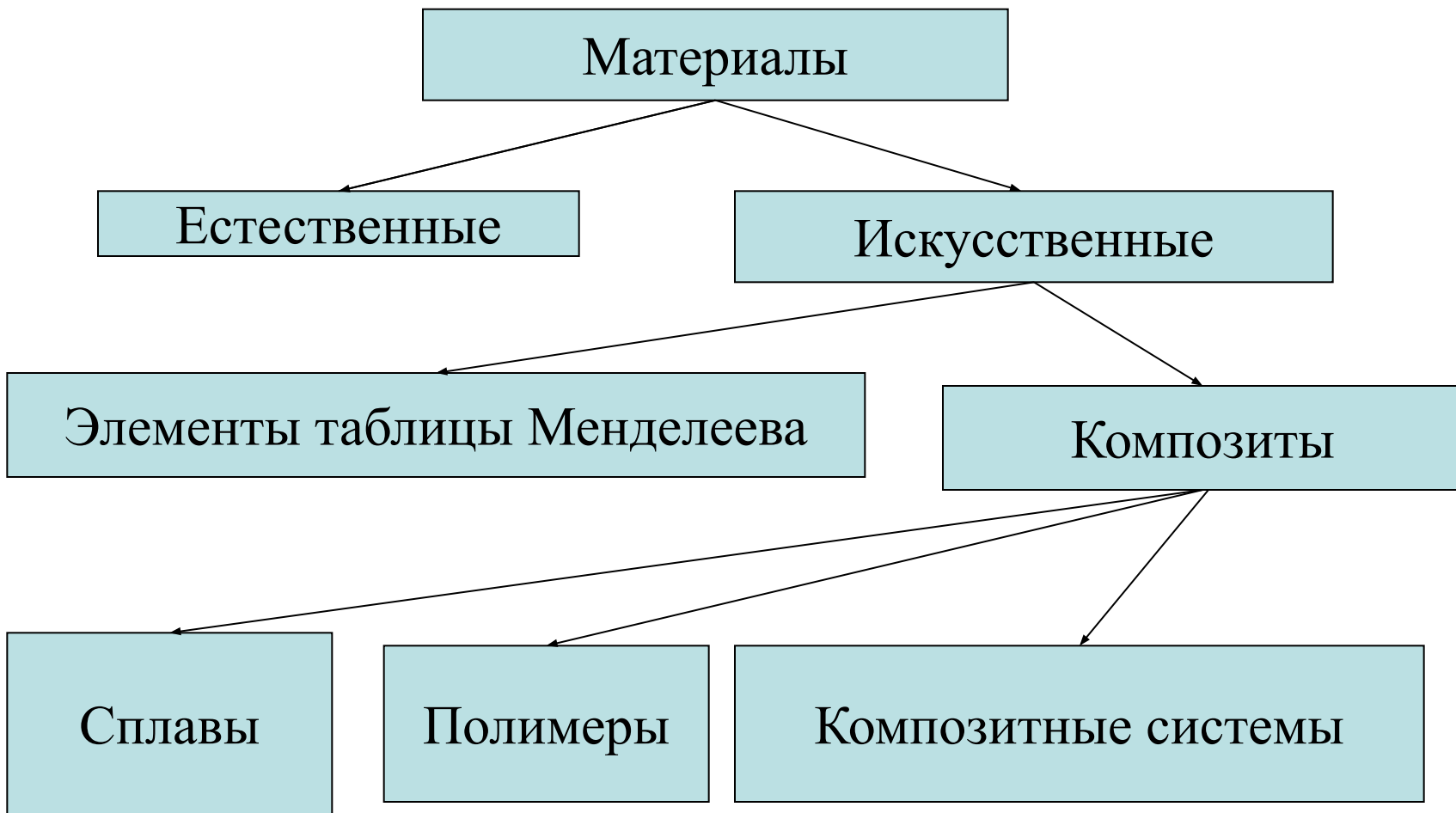
c

Нефтехимическая промышленность



Строительство





Исторические названия материалов

- Сплавы металлов (железа, меди, никеля, титана и др.), бетон, железобетон, клеи, припои, пластические массы (пластмассы), пластики, армированные пластики, многослойные стержни, пластины и оболочки, трехслойные панели с сотовыми заполнителями, поролон, пенопласт и др.

Современное представление КОМПОЗИТНЫХ материалов:

- гетерофазные (неоднородные многофазные) системы, состоящие из двух или нескольких компонентов с поверхностями раздела между ними; при этом одну из фаз называют *матрицей*, а другие – включениями или армирующими элементами; четкую границу между фазами считают третьим структурным элементом.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПО СТРУКТУРНЫМ ПРИЗНАКАМ АРМИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

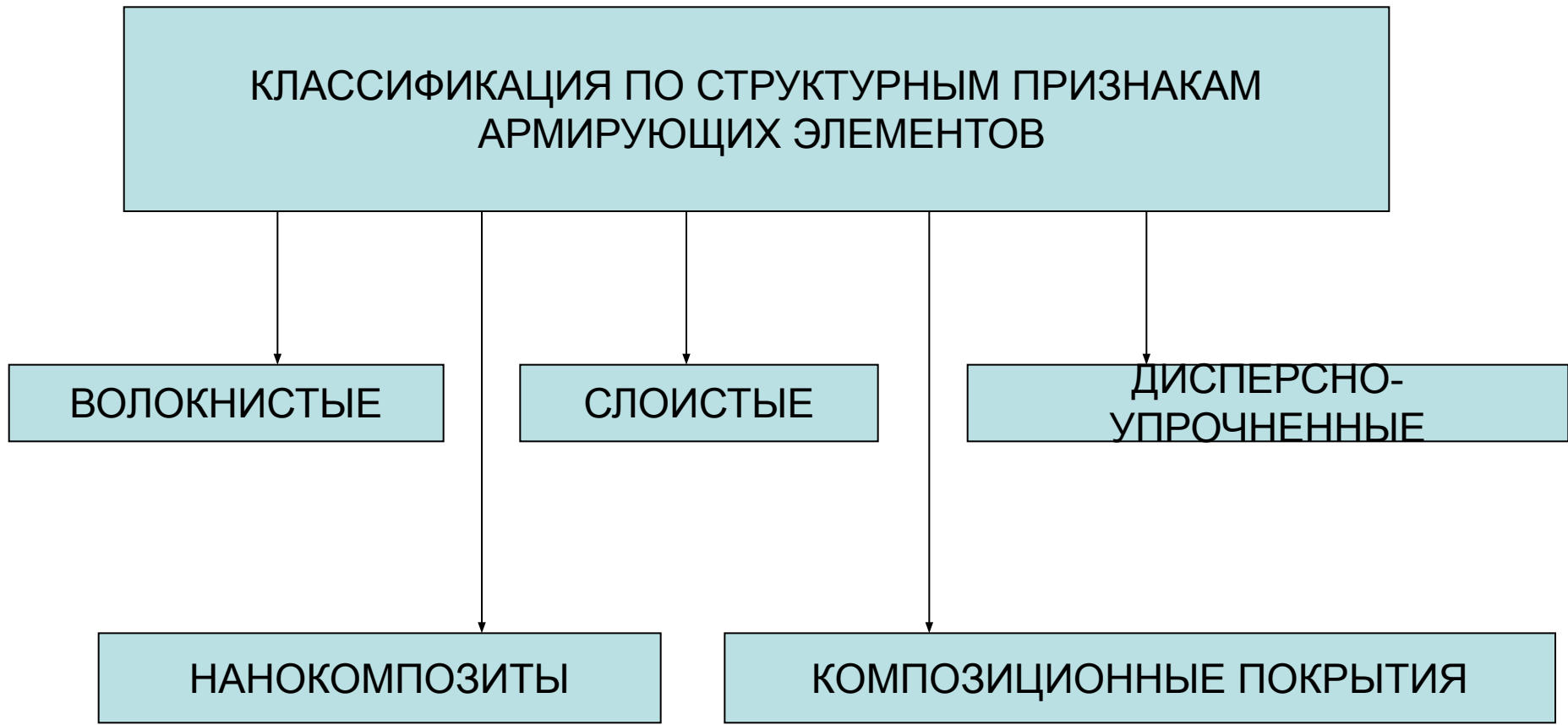
ВОЛОКНИСТЫЕ

СЛОИСТЫЕ

ДИСПЕРСНО-
УПРОЧНЕННЫЕ

НАНОКОМПОЗИТЫ

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ

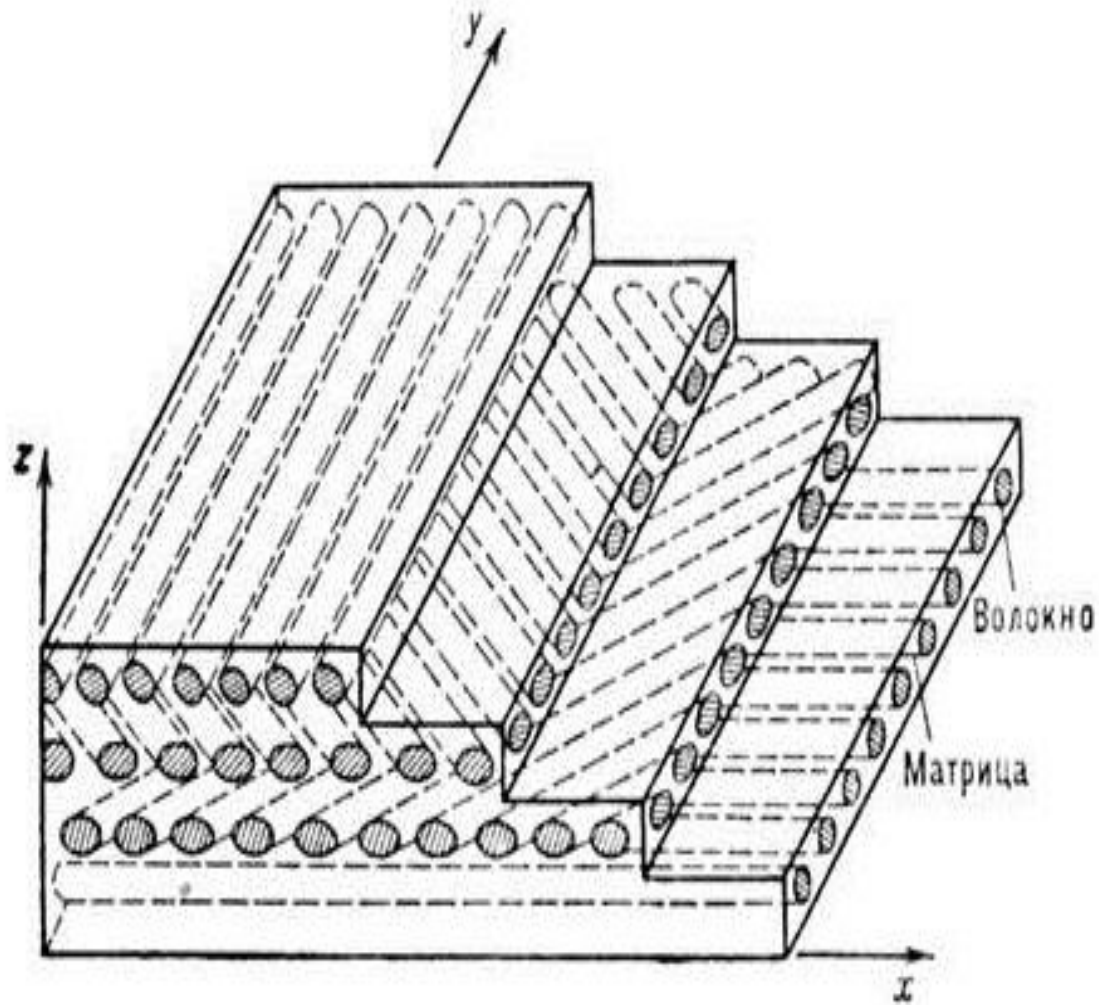


Волокнистые композитные материалы

- Состоят из матрицы и упрочняющих одномерных элементов в форме волокон, проволоки, нитевидных кристаллов и т.п. *Матрица* играет роль связующей среды для упрочняющих элементов. Она может быть металлической (Al, Mg, Ni, Ti, сплавы) и неметаллической (полимеры, углерод, керамика и др.).

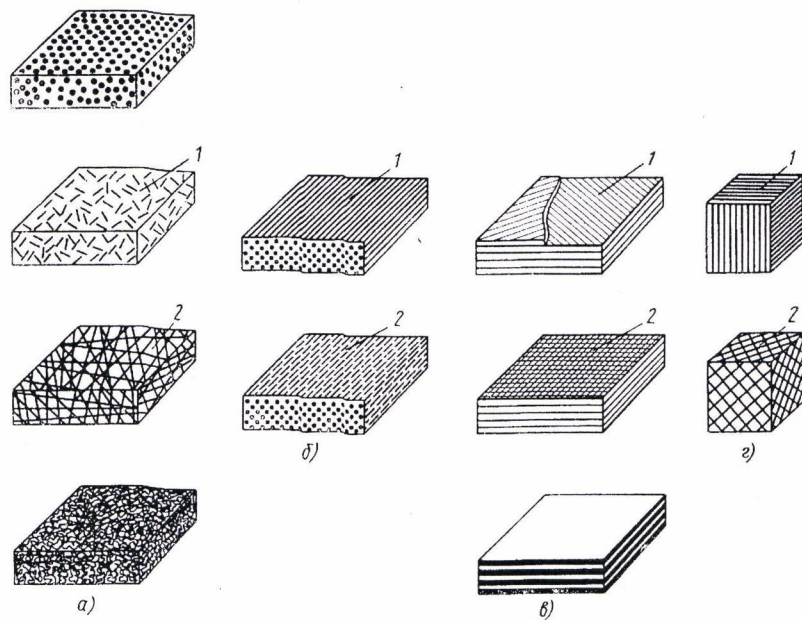
Классификация композитов по взаимодействию на поверхности раздела матрицы и волокон

- *Первая группа* – компоненты практически нерастворимы и не вступают в химические реакции.
- *Вторая группа* – матрица и волокна растворимы взаимно, но не образуют побочных продуктов.
- *Третья группа* – на поверхности раздела появляются продукты химического взаимодействия.



- Рис. 1. Волокнистый композитный материал

Рис. 2. Классификация ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИТОВ ПО КОНСТРУКЦИИ



- а – хаотически армированные;
- б – одномерно армированные;
- в – двумерно армированные;
- г – пространственно армированные

Классификация (названия) по армирующим волокнам

- Стекловолокниты – состоят из синтетической смолы (матрица) и стеклянных волокон.
- Карбоволокниты (углепласты) – полимерное связующее (матрица) и упрочнители из углеродных волокон.
- Бороволокниты - полимерное связующее (матрица) и борные волокна.

Качественные характеристики КОМПОЗИТОВ

- *Преимущества: надежность (вязкое разрушение, трещиностойкость, термостойкость), химическая стойкость, задаваемые электрические и другие физические свойства, малый объемный вес.*
- *Недостатки: значительная стоимость, изготовление материала одновременно с деталью, токсичность некоторых компонентов.*

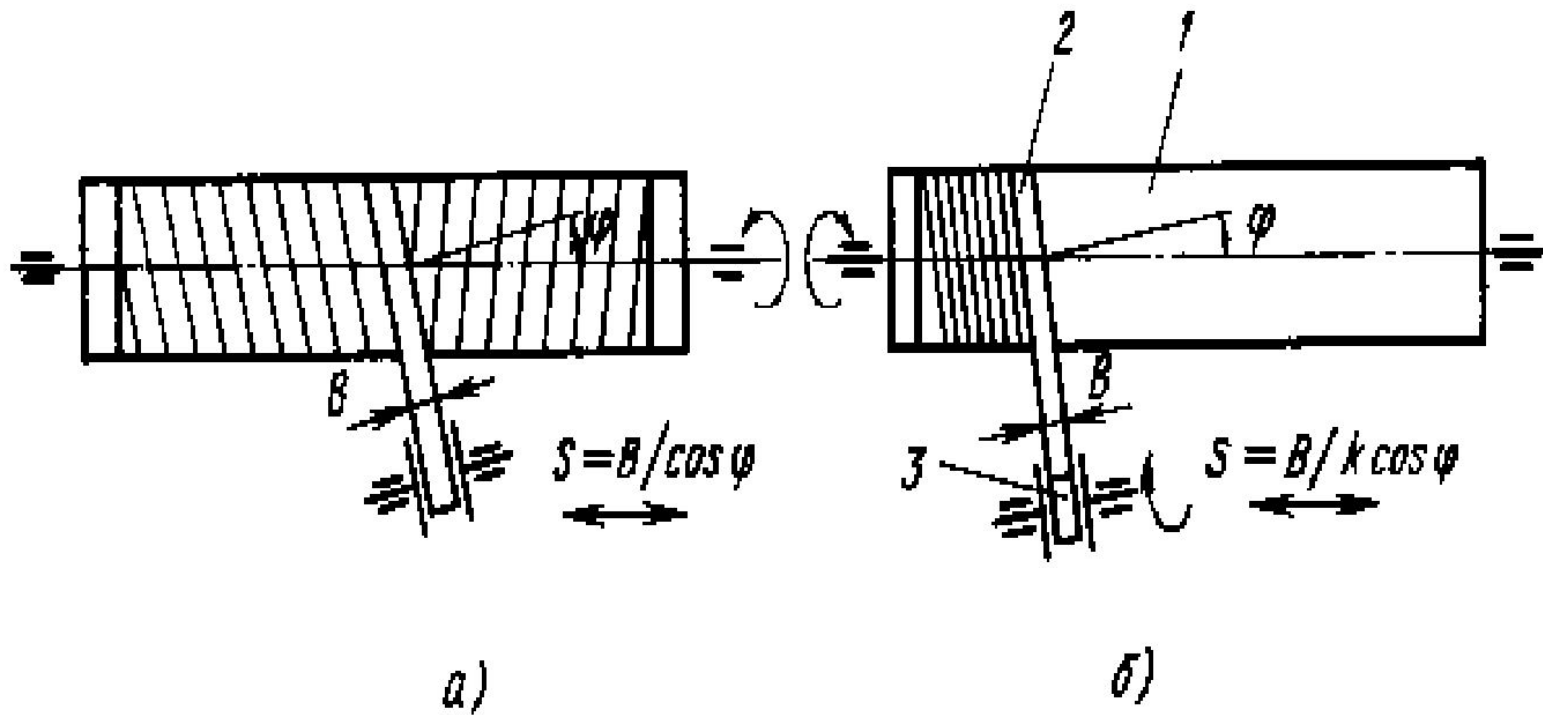
Особенности композитов

- Механические, физические и химическая несовместимость компонентов (коэффициенты расширения, деформируемость и др.).
- Концентрация напряжений на границе, разрушение от нагрузки и температуры.
- Реологические свойства компонентов.
- Разносопротивляемость при растяжении и сжатии.

Варианты технологии изготовления полимерных волоконистых композитов

- 1. Прессование – прямое и литьевое.
- 2. Выдержка – время пребывания материала в нагретом состоянии.
- 3. Контактно-вакуумное формирование за счет разности давления наружным и внутренним разрежением.
- 4. Автоклавное формирование использует автоклавы вулканизации резины.

5. Вариант намотки волокон

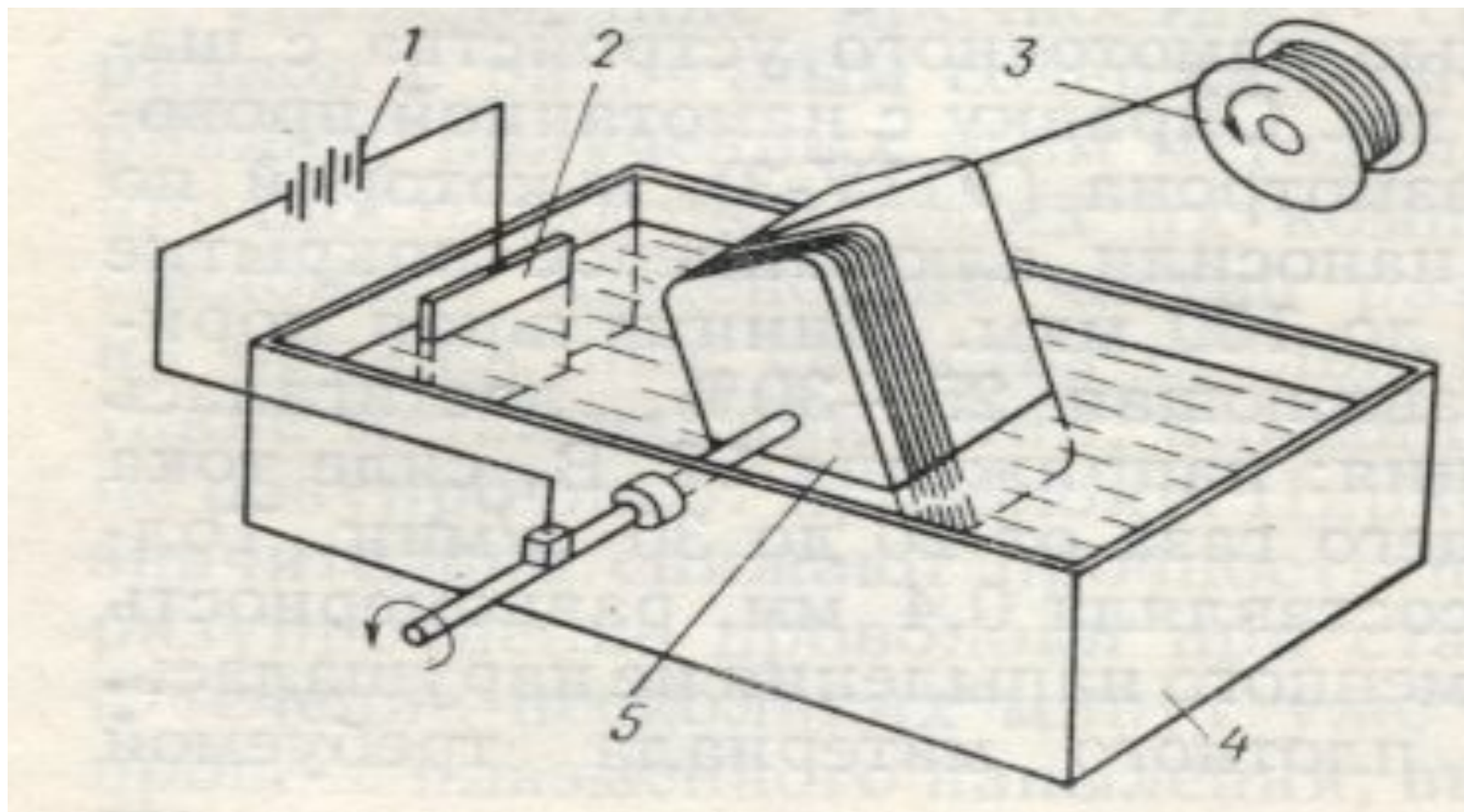


- Рис. 3. Спирально-винтовая намотка лентой

Варианты технологии

- 6. Жидкофазное совмещение (пропитка волокон расплавом матрицы, пропитка в вакууме).
- 7. Твердофазное совмещение матрицы и волокон (диффузная сварка, порошковая металлургия, сварка взрывом).
- 8. Газофазные, химические, электрохимические (напыление, никелирование, меднение, серебрение).

Рис. 4. Схема изготовления электрохимическим способом



Дисперсно-упрочненный КОМПОЗИТ

- С размером частиц 0,01 – 0,1 мкм в матрицу обеспечивают структурное состояние дислокаций с определенной подвижностью для предотвращения хрупкого разрушения.
- Сочетания: металлические матрица и частицы, неметаллические матрица и частицы, металлическая матрица и неметаллические частицы и наоборот.

Наноккомпозиты

- Высокодисперсные материалы с содержанием частиц 1 – 100 нм (0,000001 мм) обладают межфазной удельной поверхностью. Используются неорганические и органические вещества. Сочетание: керамика и полимеры, включения металлы или полупроводники. Структура: сетчатые, слоистые, кластерные (из атомов металла) с размером кластера 1 – 10 нм.

Технология изготовления нанокомпозитов

- Основана на различных химических технологиях с контролем межфазных границ: подавление фазового разделения, золь-гель технология, реакции ионного обмена, испарение и распыление, осаждение паров, плазменная полимеризация, получение тонких пленок, внедрение ионов металлов в мономеры с катализаторами, гидролиз.

Свойства нанокompозитов

- Повышенные механические характеристики, особые теплофизические свойства, электрические свойства суперпарамагнитные свойства, задаваемые оптические свойства, сенсорные свойства, износостойкость.

Надежность КОМПОЗИТОВ

- Основные параметры надежности: прочность, жесткость, устойчивость, механика разрушения.
- Условие прочности

$$\sigma \leq [\sigma]$$

- Закон Гука для одноосного НДС

$$\sigma = E\varepsilon$$

Моделирование для КОМПОЗИТОВ

- Композит – анизотропный и неоднородный

$$E, G, \nu = f(x, y, z)$$

- Макроуровень – упругое поведение (рабочее состояние).
- Микроуровень – поведение при разрушении.
- В макроуровне используются методы «приведения» или «осреднения»

Метод приведения (осреднения)

- Реальный композитный материал моделируется более простыми изотропными или ортотропным путем использования *приведенных (эффективных)* геометрических и физических характеристик материала в зависимости от НДС элемента конструкции.

Растяжение композитного стержня

- Пример расчета

$$\sigma_m = \frac{N}{A_{np}}$$

$$\sigma_a = n \frac{N}{A_{np}}$$

$$n = \frac{E_a}{E_m}$$

$$A_{np} = A_m + nA_a$$

Осреднение по объему

$$Y_o = \frac{Y_m V_m + Y_a V_a}{V_m + V_a} \quad Y \Rightarrow A, E, G, \nu$$

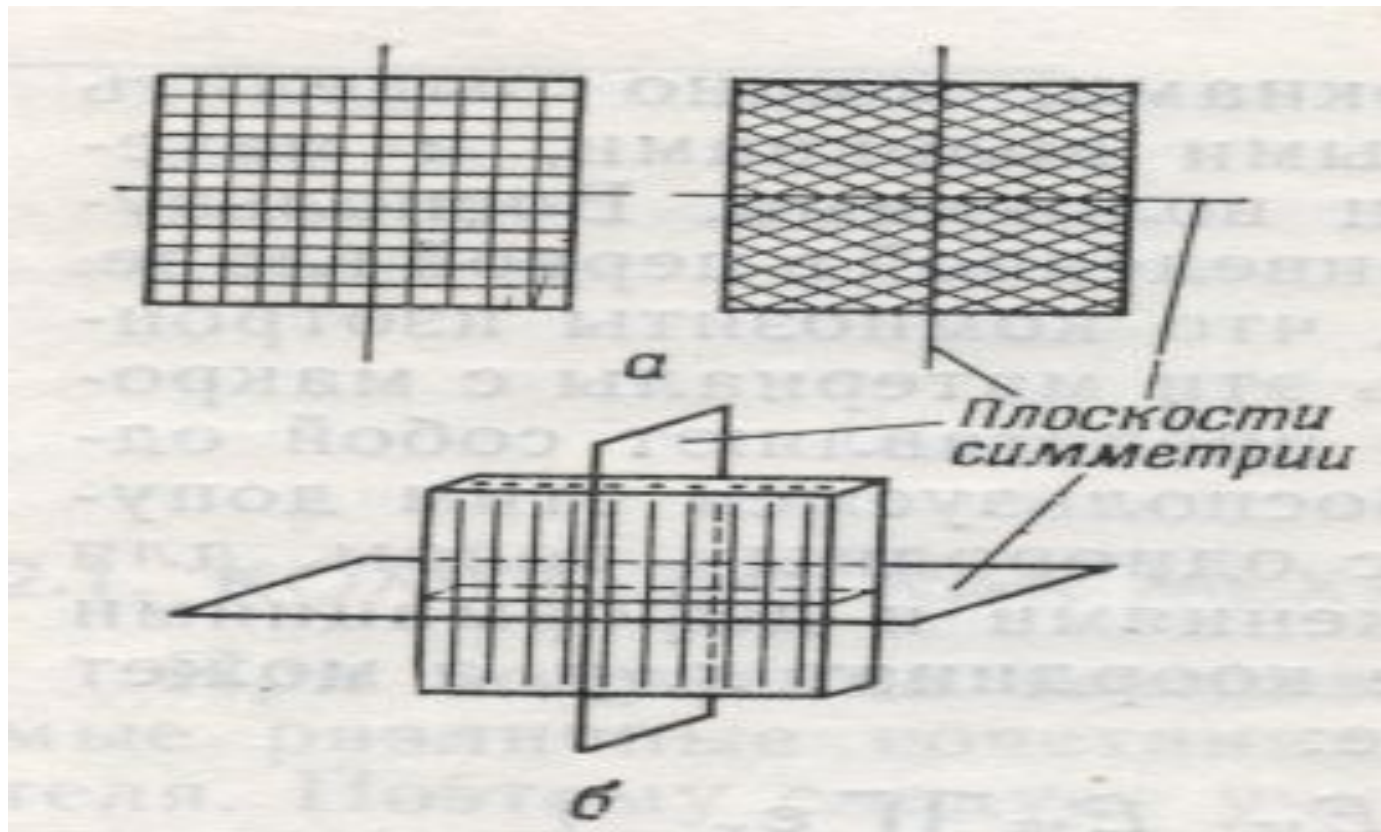
$$X_o = \int_V X(\xi, \eta, \gamma) d\xi d\eta d\gamma \quad X \Rightarrow \sigma, \varepsilon$$

- Безразмерные координаты:

$$\xi, \eta, \gamma$$

Композитные пластины и оболочки

- Рис. 5. Схема композитной волокнистой пластины, рассматриваемой как ортотропная



Дифференциальное уравнение изгиба однородной ортотропной пластины

$$D_1 \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} + 2D_3 \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^2 \partial y^2} + D_2 \frac{\partial^4 \omega}{\partial y^4} = q$$

- Приведенные цилиндрические жесткости пластины:

$$D_1, D_2, D_3$$

Приведенная цилиндрическая жесткость пластины

$$\begin{aligned}
 D_1 = & \frac{E_M^c a}{(1 - \nu_{M,c}^2)} \cdot \frac{z_0}{6} + \frac{a \pi d_v^2}{4 t_\varepsilon} \left(\left(z_0 - \frac{d_v}{2} \right)^2 + \left(z_0 - k_\varepsilon - \frac{3}{2} d_v \right)^2 \right) \\
 & \cdot \left(\frac{E_\varepsilon}{1 - \nu_\varepsilon^2} - \frac{E_M^c}{1 - \nu_{M,c}^2} \right) - \frac{E_M^p}{1 - \nu_{M,p}^2} \left(\frac{h^3}{3} - \frac{z_0}{6} - \frac{z_0 h^2}{2} \right) \\
 & + \left(\left(h - z_0 - k_\varepsilon - \frac{3}{2} d_v \right)^2 + \left(h - z_0 - \frac{d_v}{2} \right)^2 \right) \frac{a \pi d_v^2}{4 t_\varepsilon} \left(\frac{E_M^p}{1 - \nu_{M,p}^2} \right. \\
 & \left. - \frac{E_\varepsilon}{1 - \nu_\varepsilon^2} \right)
 \end{aligned}$$

Управляемые композитные материалы

- УК – многофункциональные системы, имеющие активный отклик на изменение условий и, обладающие признаками интеллектуального поведения.
- *Бионика* – наука об использовании знаний о конструкциях и формах, принципах и технологических процессах живой природы в технических устройствах и системах.

Классификация УКС

- УКС: БИОКОМПОЗИТЫ, АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ;
- БИОКОМПОЗИТЫ: ЕСТЕСТВЕННЫЕ, ИСКУССТВЕННЫЕ;
- АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ: ПАССИВНЫЕ, АКТИВНЫЕ, АКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ, КОМБИНИРОВАННЫЕ;
- АКТИВНЫЕ АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ (ВОЗДЕЙСТВИЯ): ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ, ЭЛЕКТРОННОЕ (МИКРОПРОЦЕССОРЫ), ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ, АКУСТИЧЕСКОЕ, СВЕТОВОЕ, РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОЕ, РАДИОВОЛНЫ, ЛАЗЕРНОЕ;
- КОМБИНИРОВАННЫЕ.

Адаптивные системы

- Пассивные – проектируются и изготавливаются так, что при действии нагрузки имеют заданные перемещения.
- Активные – при электрическом действии приобретают заданную форму.
- Адаптивная технология – при изготовлении имеется возможность влиять на процесс полимеризации.