

Механические свойства твердых тел.

Изменение взаимного расположения точек тела, которое приводит к изменению его формы и размеров, называют ***деформацией***.

Деформации бывают:

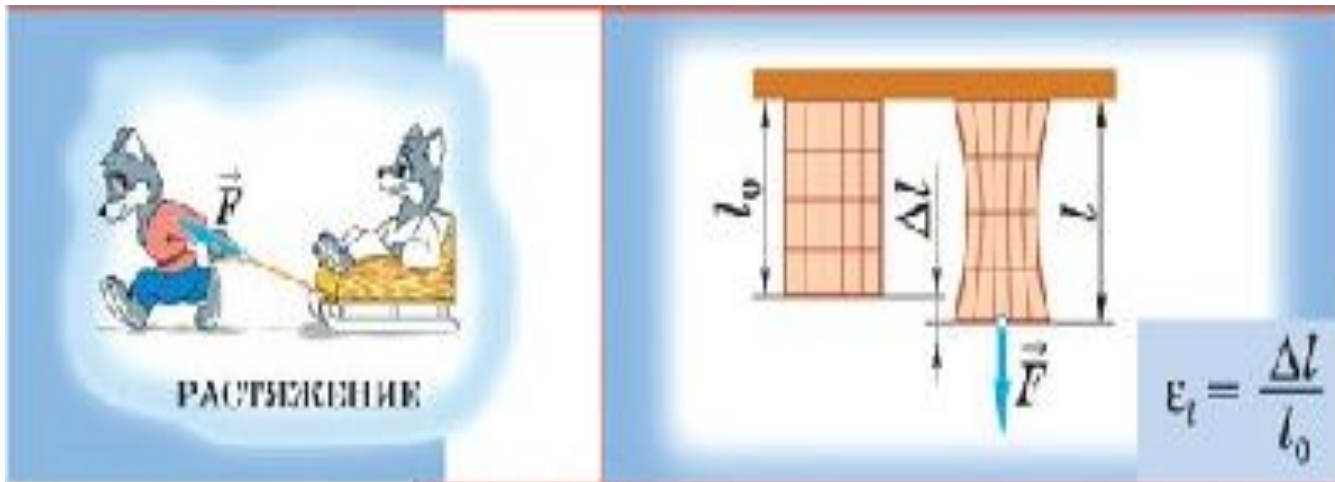
- ***упругие;***
- ***пластические;***
- ***упругопластические***

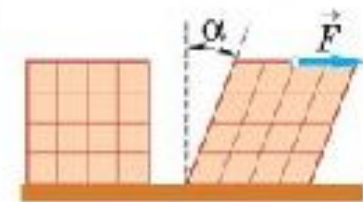
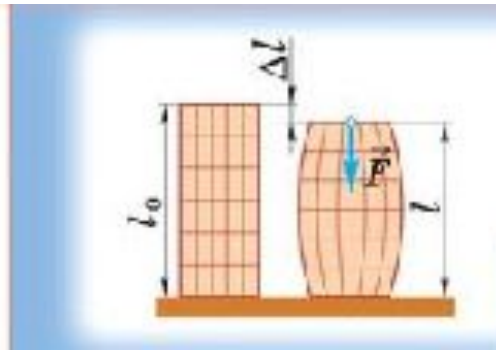
Виды деформации:

растяжение (сжатие)

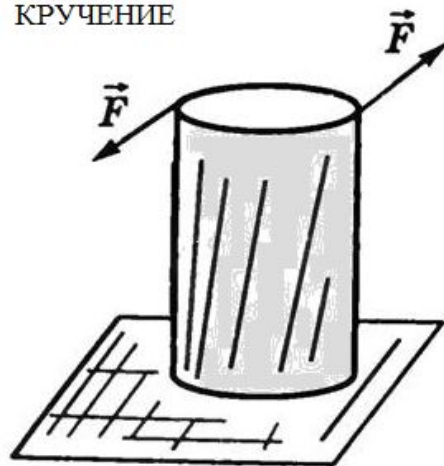
СДВИГ

кручение



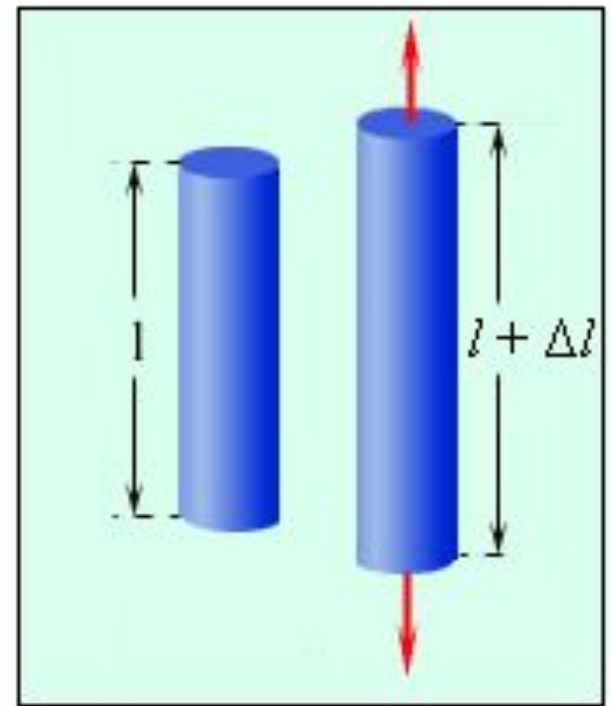


КРУЧЕНИЕ



Физическая величина, равная модулю разности конечной и начальной длины деформированного тела, называется абсолютной деформацией:

$$\Delta L = |L - L_0|$$



Физическая величина, равная отношению абсолютной деформации тела к его начальной длине, называют относительной деформацией:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

при растяжении $\varepsilon > 0$, при сжатии $\varepsilon < 0$

Упругие деформации подчиняются закону Гука



Роберт Гук (1635 — 1703) — английский физик, член Лондонского королевского общества, его работы посвящены теплоте, упругости, оптике, небесной механике.

Гук усовершенствовал микроскоп, что привело его к открытию клеточного строения организма.

Закон Гука для деформации растяжение - сжатие

$$\sigma = E\varepsilon$$

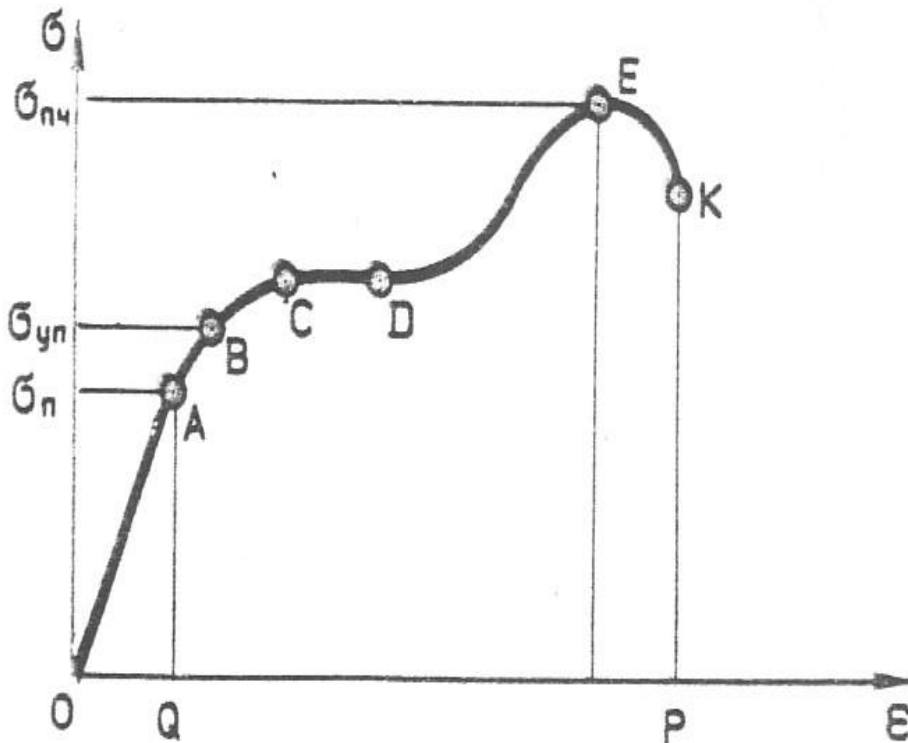
коэффициент пропорциональности E , входящем в закон Гука, называется модулем упругости или модулем Юнга.

$$E=1[\text{Па}]$$

σ механическое напряжение

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

Диаграмма растяжения



- OAB – область упругих деформаций
- т.В – предел упругости
- BC – область пластических деформаций
- т.С – предел пластичности
- CD – область текучести
- DE – с увеличением нагрузки удлинение быстро начинает возрастать
- т.Е – предел прочности
- EK – разрушение образца

Механические свойства биологических тканей.

процессы биологической подвижности: сокращение мышц животных, рост клеток, движение хромосом в клетках при их делении и др., называют активными механическими свойствами биологических систем

рассматриваются в курсе биохимии

пассивные механические свойства биологических тел

рассматриваются в курсе биофизики

Ткани человека подразделяют по плотности и типу пространственной структуры на

- твердые (кость, эмаль и дентин зубов);
- мягкие (мышцы, эпителий, эндотелий, соединительная ткань, паренхима);
- жидкие (кровь, лимфа, ликвор, слюна, сперма).

Модуль упругости (модуль Юнга) некоторых материалов

Материал	Модуль Юнга E, Па
Эластин	$10^5 - 10^6$
Коллаген	$10^7 - 10^8$
Мембрана эритроцита	4×10^7
Клетки гладких мышц	10^4
Мышца в покое	9×10^5
Кость	$1,2 \times 10^{10}$
Сухожилие	$1,6 \times 10^8$
Нерв	$18,5 \times 10^6$
Вена	$8,5 \times 10^5$
Артерия	5×10^4
Древесина	12×10^9
Резина	5×10^6
Сталь	2×10^{11}

Механические свойства тканей животных и человека обусловлены в значительной степени следующими биополимерами:

- коллагеном;
- эластином;
- гликозаминогликанами;
- гликопротеинами;
- растворимыми протеинами.

Во внеклеточной среде коллаген и эластин образуют волокна, а остальные биополимеры — основное вещество соединительной ткани.

- Коллагеновые волокна могут растягиваться на 10—20%;
- Эластиновые волокна могут растягиваться до 200%;
- В разных тканях преобладают разные типы коллагена, а это, в свою очередь, определяется той ролью, которую коллаген играет в конкретном органе или ткани.



- В пластинчатой костной ткани, из которой построено большинство плоских и трубчатых костей скелета, коллагеновые волокна имеют строго ориентированное направление: продольное — в центральной части пластинок, поперечное и под углом — в периферической.

Поперечно ориентированные коллагеновые волокна могут вплетаться в промежуточные слои между костными пластинками, благодаря чему достигается прочность костной ткани.

- В сухожилиях коллаген образует плотные параллельные волокна, которые дают возможность этим структурам выдерживать большие механические нагрузки;
- В хрящевой матрице коллаген образует фибриллярную сеть, которая придает хрящу прочность;

- в роговице глаза коллаген участвует в образовании гексогональных решёток десцементовых мембран, что обеспечивает прозрачность роговицы, а также участие этих структур в преломлении световых лучей;
- В дерме фибриллы коллагена ориентированы таким образом, что формируют сеть, особенно хорошо развитую в участках кожи, которые испытывают сильное давление (кожа подошв, локтей, ладоней), а в заживающей ране они агрегированы весьма хаотично.

Эластические волокна имеют модуль Юнга от 10^5 до 10^7 Па и способны растягиваться более чем в 2 раза, т. е. на 200%

. В шее копытных млекопитающих выйная связка образована главным образом эластином (он составляет почти 100% сухой массы). Благодаря этому животное может низко (до земли) опускать голову и довольно экономно расходовать мышечные усилия на поддержание головы в поднятом положении.

- Основное вещество соединительной ткани образовано гликопротеинами и гликозаминогликанами.
- Оно имеет очень невысокий модуль Юнга, относится к вязким средам и выполняет три биомеханические функции:
 - перераспределение нагрузки между волокнами;
 - эффективную изоляцию отдельных волокон, что предотвращает распространение разрывов при их локальном возникновении;
 - уменьшение трения при распрямлении коллагеновых волокон.

Костная ткань

- 2/3 массы компактной костной ткани составляет неорганический материал - гидроксилapatит $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$, в форме микроскопических кристалликов
- в остальном кость состоит из органического материала, главным образом **коллагена** (высокомолекулярное соединение, волокнистый белок, обладающий высокой эластичностью)

У человека 50% всего коллагена содержится в костях, где он составляет 90% органического матрикса.

Вторая половина сосредоточена в соединительной ткани, хряще, стенках сосудов, базальных мембранах многомембранных систем и т. д.

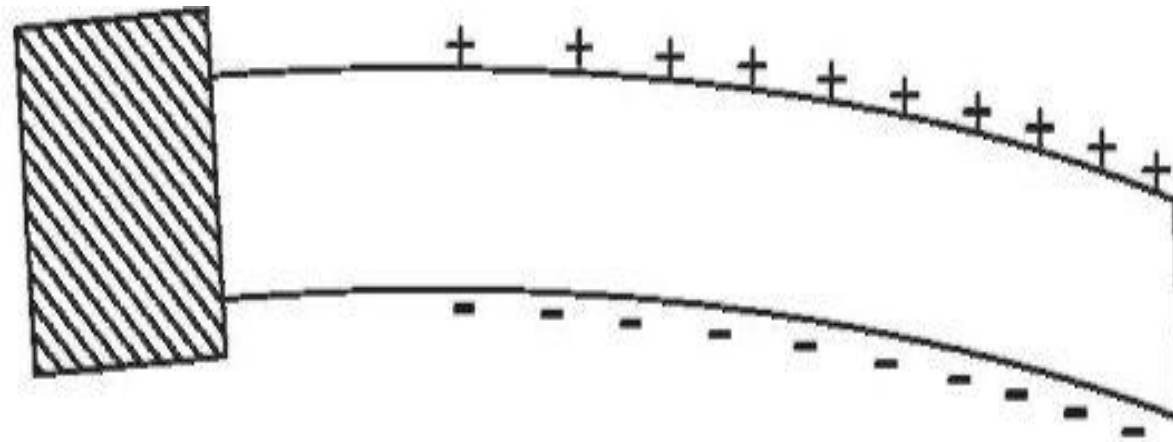
модуль Юнга около 10 ГПа, предел прочности 100 МПа.
совпадает с данными для капрона, армированного стеклом

плотность костной ткани 2400 кг/м^3

Бедренная кость в вертикальном положении выдерживает нагрузку до 1,5т, а большая берцовая до 1,8т. (это в 20 – 30 раз больше веса нормального человека)

- При различных способах деформирования (нагружения) кость ведет себя по-разному.
- Прочность на сжатие выше, чем на растяжение или изгиб.
- Так, бедренная кость в продольном направлении выдерживает нагрузку 45 000 Н,
а при изгибе - 2500 Н.

Механическая деформация костей, сопровождающаяся пьезоэлектрическим эффектом



При изгибе образца кости в виде пластинки возникает разность электрических потенциалов со знаком «плюс» на выпуклой стороне.

Эта разность потенциалов в интервале упругих деформаций пропорциональна величине механического напряжения.

Кожа

состоит из волокон коллагена и эластина (так же как и коллаген, волокнистый белок) и основной ткани — матрицы

коллаген составляет около 75% сухой массы, а эластин — около 4%

Материал	Модуль упругости, ГПа	Предел прочности, МПа
Коллаген	10—100	100
Эластин	0,1—0,6	5

кожа является вязкоупругим материалом с высокоэластическими свойствами

Мышцы

соединительная ткань, состоящая из волокон коллагена и эластина

механические свойства мышц подобны механическим свойствам полимеров

Мышцы по строению делятся на два вида:

- гладкие мышцы (кишечник, стенки сосудов, желудка, мочевого пузыря)
- скелетные (мышцы сердца, мышцы, крепящиеся к костям и обеспечивающие движение головы, туловища, конечностей).