

ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

(Лысенко Е.А.)

Лекция № 2.

Механические

***характеристики полимерных
материалов.***

2.1. Виды деформаций полимеров. Жесткость.

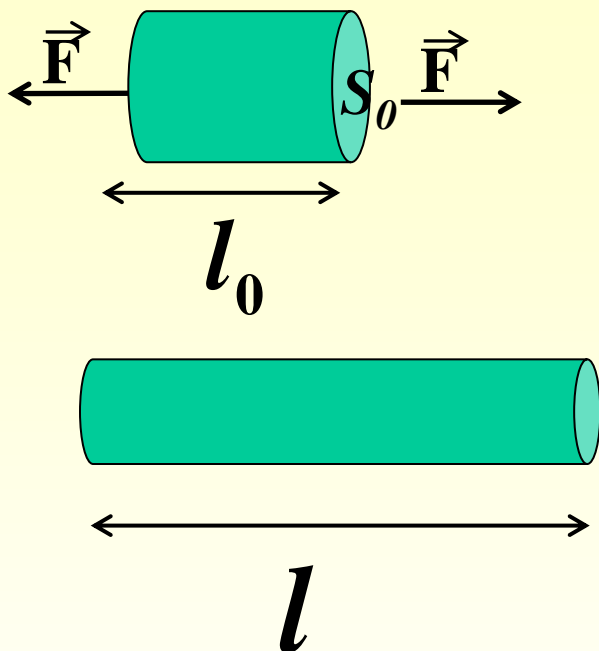
Деформация – (от лат. *deformatio* — «искажение») изменение взаимного положения частиц тела, связанное с их перемещением относительно друг друга под действием внешней механической силы. На макроуровне деформация проявляется в изменении формы и объёма тела.



Сила действует нормально (перпендикулярно к поверхности)

Что такое деформация (одноосного) растяжения?

4



Деформация одноосного растяжения

l_0 – начальная длина образца;

l – длина деформированного образца;

F – приложенная сила;

S_0 – начальная площадь поперечного сечения недеформированного образца;

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

$$\sigma = \frac{F}{S_0}$$

ε (деформация) - это относительное удлинение; безразмерная величина, часто умножают на 100 и выражают в %.

σ (напряжение) - это сила, приходящаяся на единицу площади поперечного сечения исходного образца;
единица измерения – Паскаль (Па); $1 \text{ Па} = \text{Н/М}^2$ (1 ньютон на 1 квадратный метр)

Как можно классифицировать виды деформаций по отклику материала?

5

Деформации

Обратимые

Тело полностью восстанавливает исходную форму и размеры после снятия нагрузки



Упругие (Гуковские)

Развиваются «мгновенно», подчиняются закону Гука (E – модуль Юнга)

$$\sigma = E\varepsilon$$

Высокоэластичные

Характерны только для полимеров в высокоэластичном состоянии ($T > T_g$ или $T > T_{nl}$) Развиваются во времени, связана с разворачиванием клубков

Необратимые

Тело не восстанавливает исходную форму и размеры после снятия нагрузки, остается в деформированном состоянии

Вынужденно эластичные

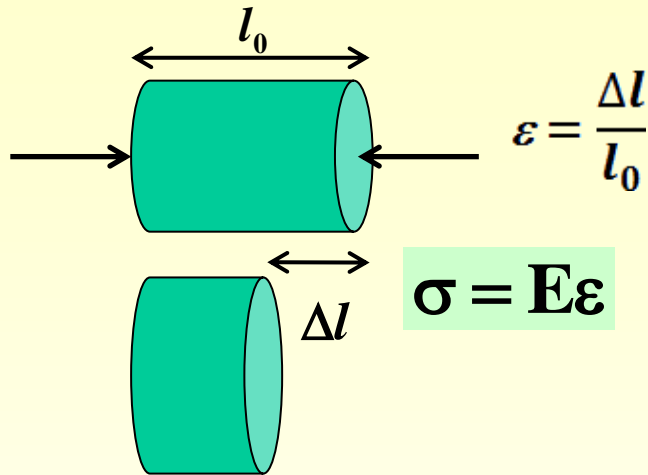
Характерны только для полимеров в стеклообразном ($T < T_g$) или кристаллическом ($T < T_{nl}$) состоянии. При нагревании выше T_g (или T_{nl}) полностью исчезают

Пластичные (холодное течение)

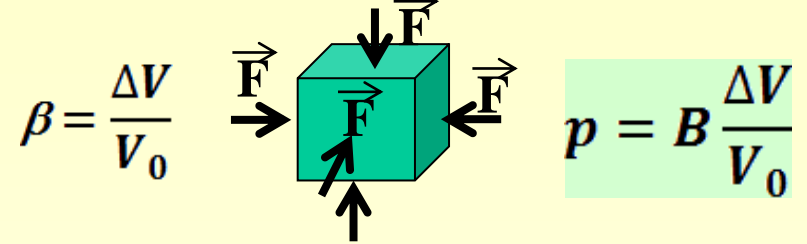
Связаны со с необратимым смещением центров тяжести молекул друг относительно друга без нарушения сплошности тела. При нагревании не исчезают

Как определяются другие виды деформации?

Деформация одностороннего сжатия



Деформация всестороннего сжатия



V_0 – начальный объем образца;

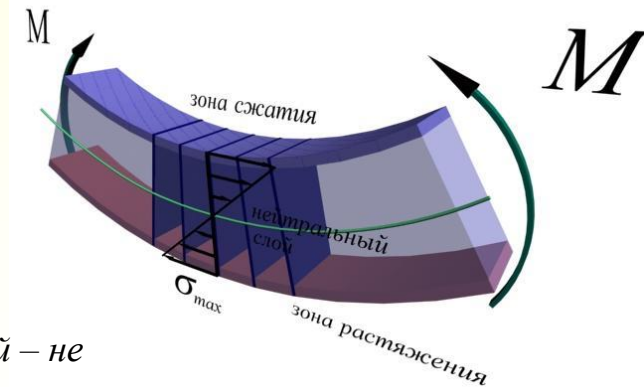
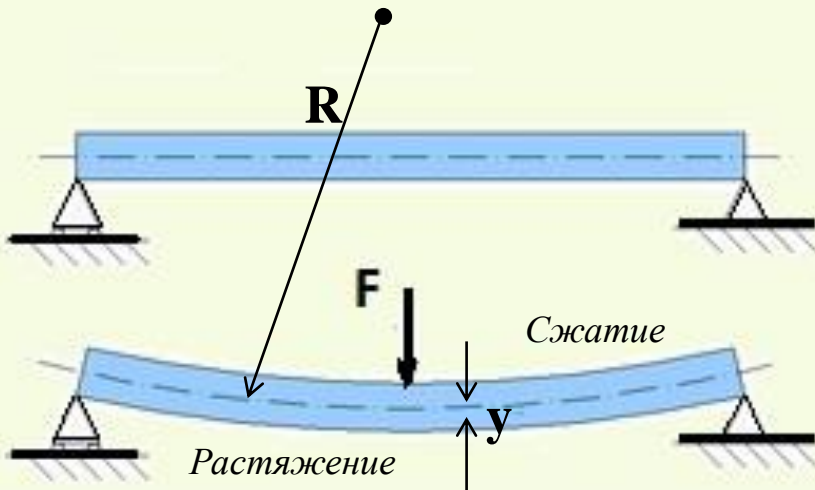
V – объем деформированного образца;

β – объемное сжатие;

p – давление в образце;

B – модуль объемной упругости;

Деформация изгиба

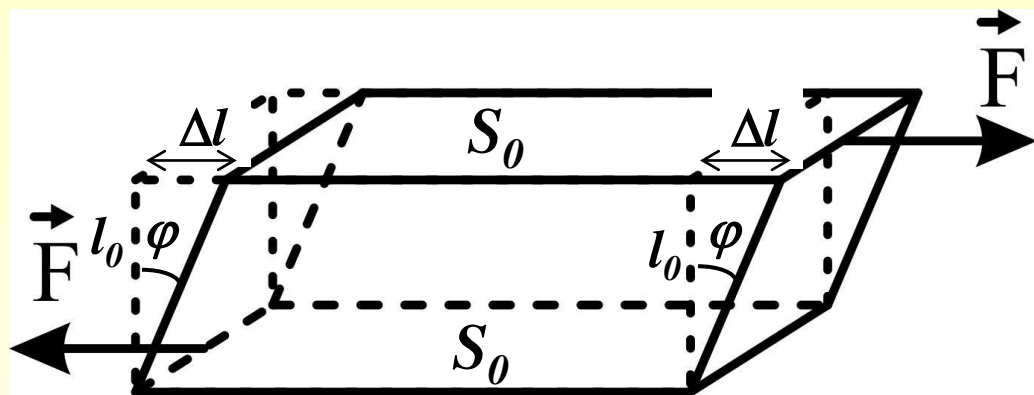


Нейтральный слой – не растягивается и не сжимается

R – радиус кривизны нейтрального слоя; y – расстояние от нейтрального слоя до выбранной точки;

Как определяются другие виды деформации?

Деформация сдвига (среза)

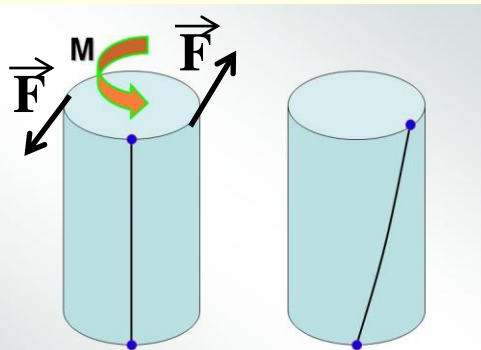


$$\tau = \frac{F}{S_0} \quad \gamma = \frac{\Delta l}{l_0} = \operatorname{tg} \varphi$$

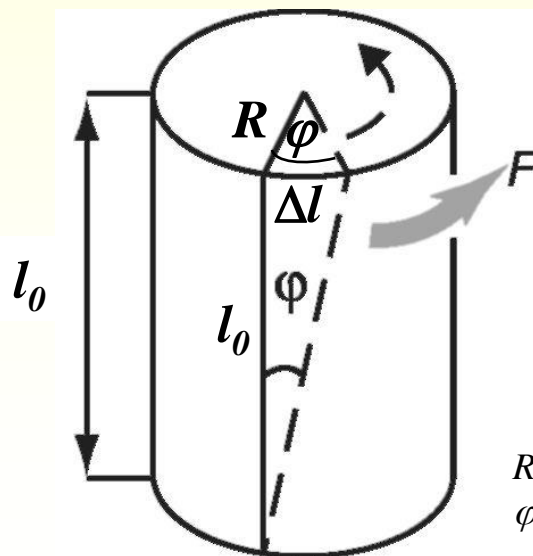
$$\tau = G \frac{\Delta l}{l_0} = G \gamma$$

τ – напряжение сдвига (направлено по касательной к поверхности);
 γ – деформация сдвига;
 G – модуль сдвига

Деформация кручения



При чистом кручении форма не меняется, но перемещение есть



$$\gamma = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{R \varphi}{l_0}$$

$$\tau = G \gamma = G \frac{R \varphi}{l_0}$$

R – расстояние от оси вращения;
 φ – угол закручивания

Жесткость – это способность материала сопротивляться образованию деформаций. Чем жестче материал, тем менее он деформируем.

Если материал подчиняется закону Гука, то количественными критериями жесткости являются модули упругости: модуль Юнга (E), модуль сдвига (G) и модуль объёмного сжатия (B). Чаще всего жёсткость материалов сравнивается через сравнение модулей Юнга.

Алмаз – $E \sim 10^{12}$ Па;

Металлы – $E \sim 10^{11}$ Па;

Кварц – $E \sim 10^{11}$ Па;

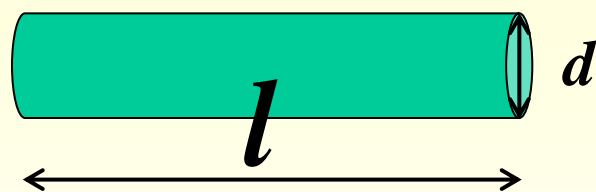
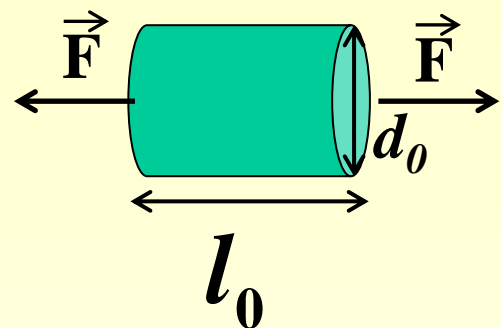
Стекло - $E \sim 10^{10}$ Па

Пластмассы – $E \sim 10^9$ Па;

Каучуки – $E \sim 10^5 - 10^7$ Па;

Газы – $E \sim 10^5$ Па.

Есть ли связь между различными модулями упругости для одного и того же материала?



$$\mu = \frac{\frac{d_0 - d}{d_0}}{\frac{l - l_0}{l_0}} = \frac{\frac{\Delta d}{d_0}}{\frac{\Delta l}{l_0}} = \frac{\varepsilon_{\text{поперечная}}}{\varepsilon_{\text{продольная}}} = \text{const}$$

Коэффициент Пуассона (μ) - отношение относительного поперечного сжатия к относительному продольному удлинению. Для данного материала – постоянная величина. Для несжимаемого упругого тела $\mu = 0.5$. Для реальных тел справедливо неравенство: $0 < \mu < 0.5$

Модули упругости при различных деформационных испытаниях связаны друг с другом через коэффициент Пуассона

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad B = \frac{E}{3(1 - 2\mu)}$$

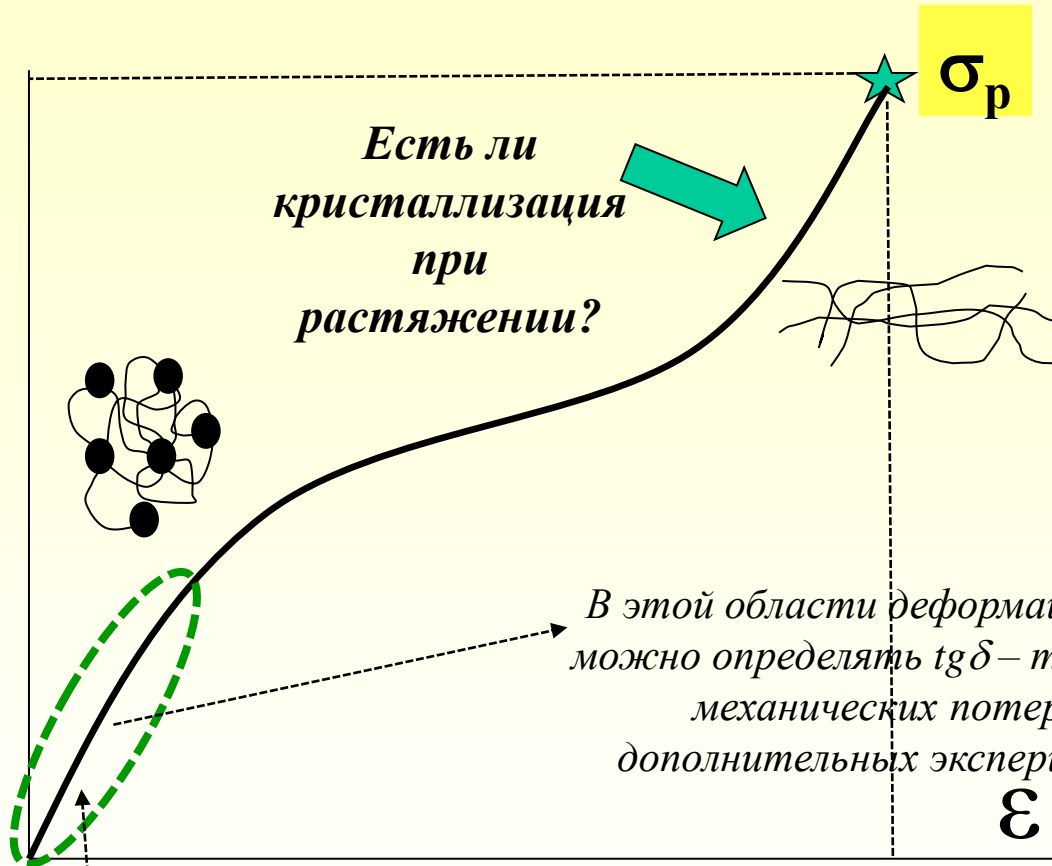
Таким образом, модуль Юнга (E) и коэффициент Пуассона (μ) полностью характеризуют упругие свойства изотропного материала

***2.2. Одноосное растяжение
полимерных тел и его
характеристики.***

Как выглядит кривая одноосного растяжения для полимера в высокоэластическом состоянии?

11

σ



Есть ли кристаллизация при растяжении?

В этой области деформаций также можно определять $\operatorname{tg} \delta$ – тангенс угла механических потерь (из дополнительных экспериментов)

σ_p – разрушающее (разрывное) напряжение;
 ε_p – деформация при разрыве.

E

E – модуль Юнга каучука – оценивается из первоначального наклона кривой $\sigma(\varepsilon)$

ε_p

σ_p

ε

Электромеханическая разрывная машина

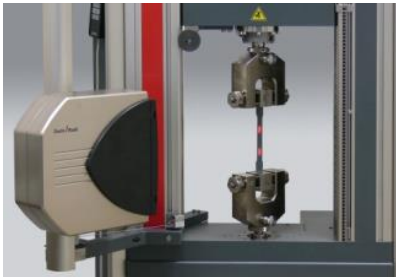
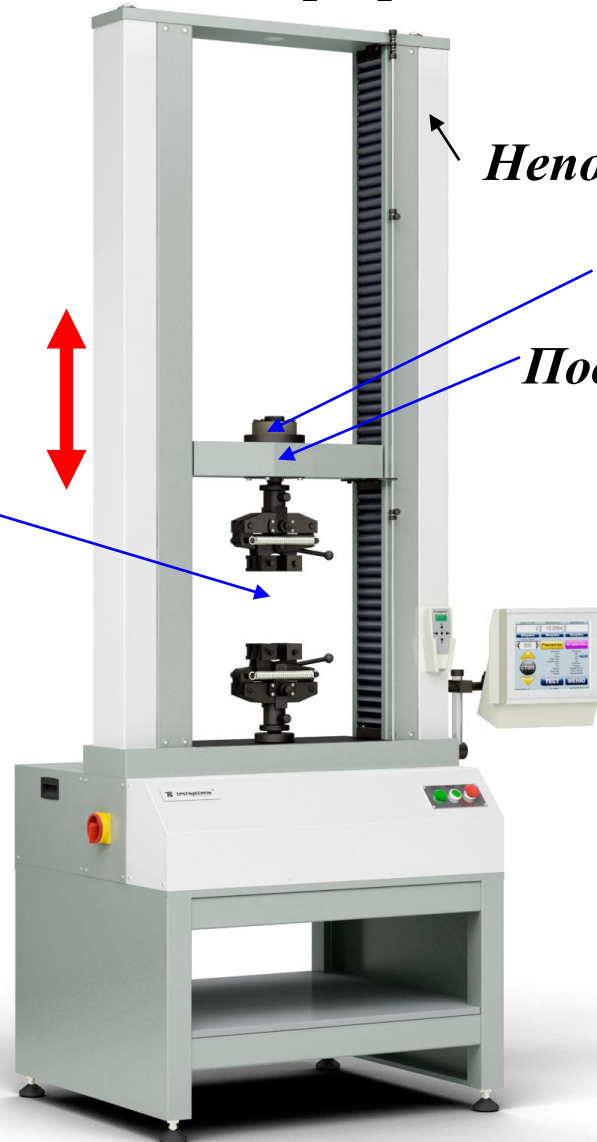
Зажимы с образцом



Неподвижная станина

Динамометр

Подвижная траверса



Что такое тангенс угла механических потерь и

13

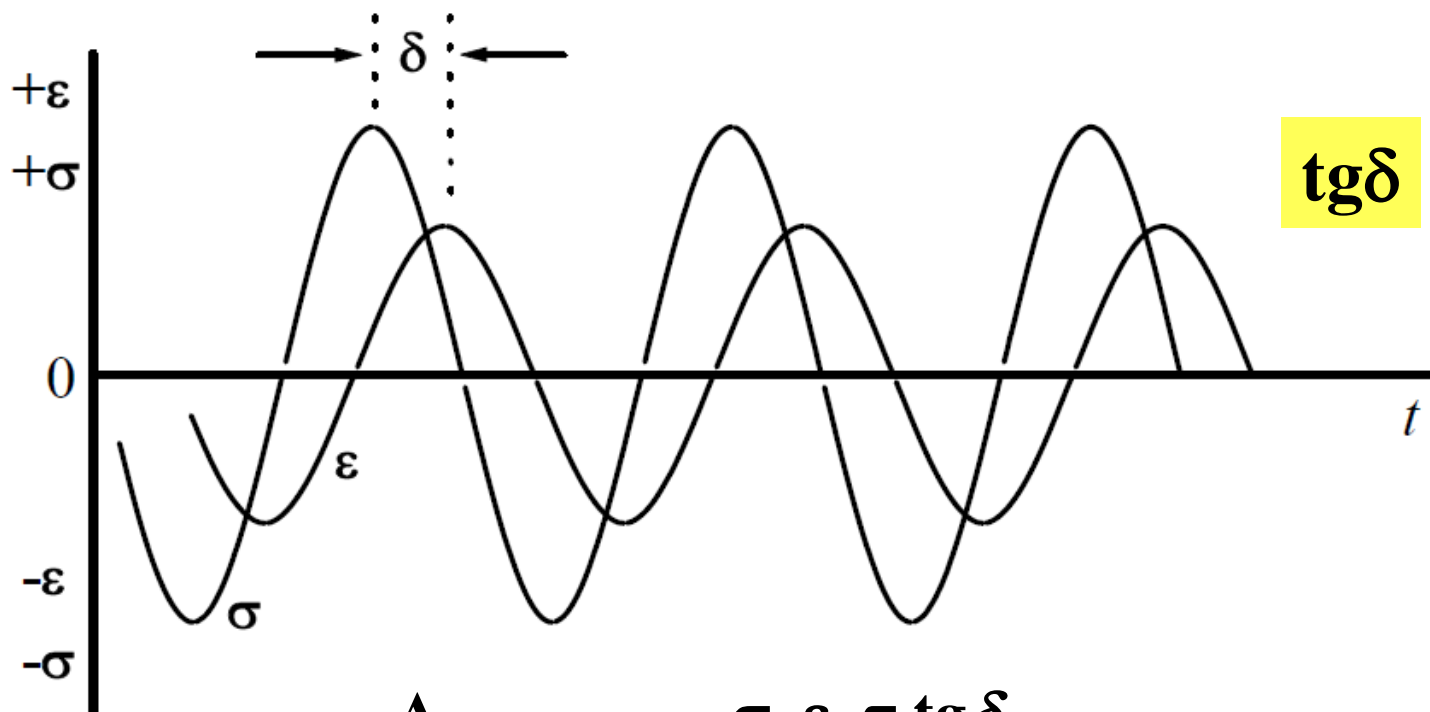
что он характеризует?

Вязкоупругое тело:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin \omega t$$

$$\sigma = \sigma_0 \sin(\omega t - \delta)$$

$$0 < \delta < \frac{\pi}{2}$$

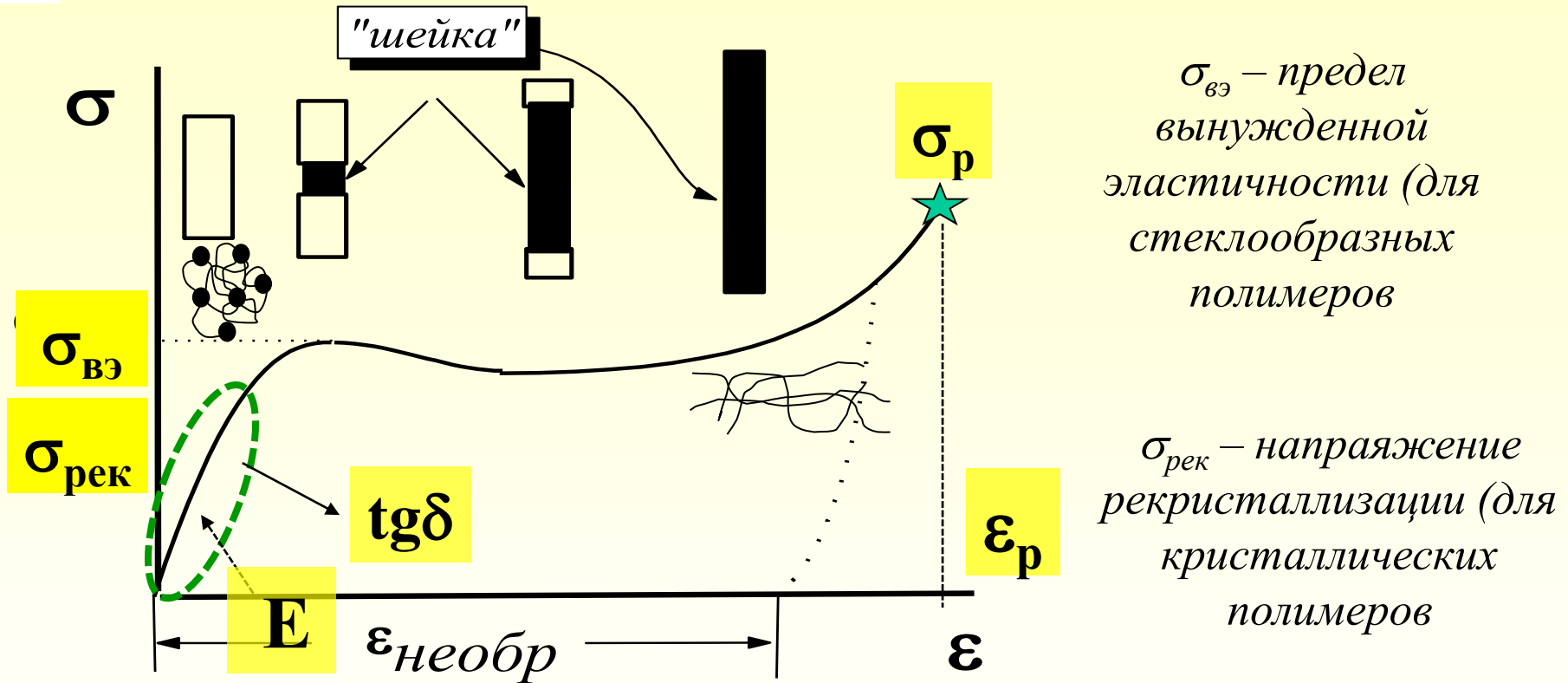


$$A_{\text{потерянная}} \sim \sigma_0 \varepsilon_0 \pi \text{tg}\delta$$

Тангенс угла механических потерь $\text{tg}\delta$ (при выбранной частоте ω и температуре) – характеризует способность полимера рассеивать механическую энергию в форме теплоты

Как выглядит кривая одноосного растяжения для полимера в стеклообразном или кристаллическом состоянии выше температуры хрупкости?

14

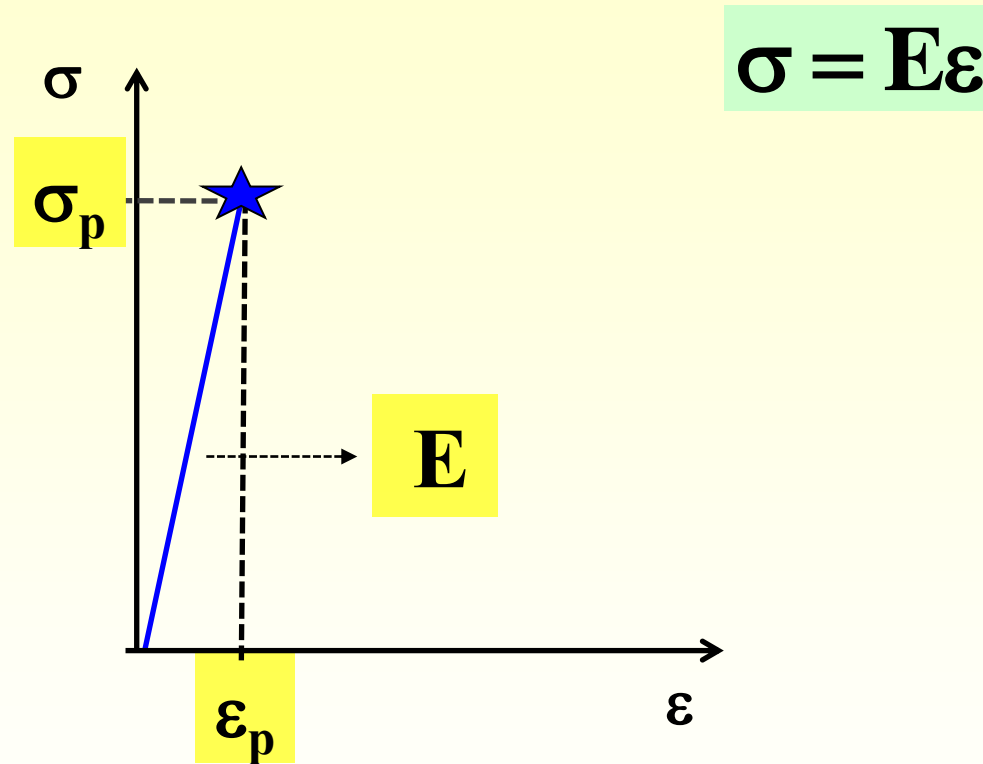


$$\sigma_{\text{пр}} = \sigma_{\text{вэ}} \text{ (для аморфных полимеров) или } \sigma_{\text{рек}} \text{ (для кристаллических)}$$

Величина $\sigma_{\text{пр}}$ характеризует **прочность** – способность материала сопротивляться разрушению (потере целостности), а также необратимому изменению формы под действием внешних нагрузок.

Как выглядит кривая одноосного растяжения для полимера в стеклообразном или кристаллическом состоянии ниже температуры хрупкости?

15



Хрупкое состояние – состояние, которое следует избегать

2.3. Ударная вязкость (прочность).

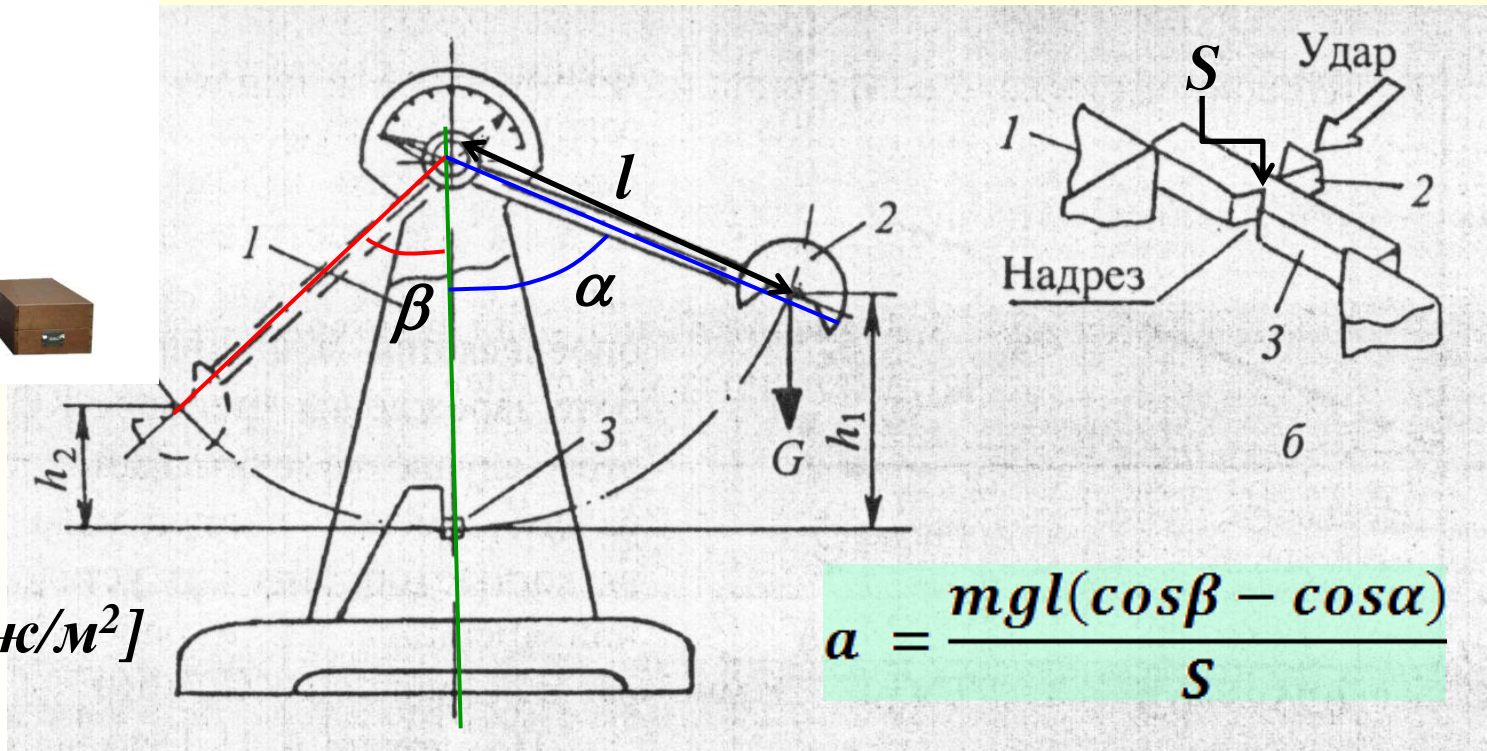
Как количественно оценить хрупкость материала

17

(сопротивляемость удару)?

Это можно сделать, оценив работу разрушения образца при ударе, делённую на площадь поперечного сечения образца в месте надреза. Эта удельная работа получила название ударной вязкости или ударной прочности (обозначается буквой a).

Маятниковый копр



$$[a] = [\text{Дж}/\text{м}^2]$$

$$a = \frac{mgl(\cos\beta - \cos\alpha)}{S}$$

m – масса маятника; l – радиус маятника; S – площадь поперечного сечения в месте надреза; α – угол заведения маятника; β – угол подъёма маятника после удара.

18 **Какие значения ударной вязкости характерны для полимеров?**

Полипропилен – $\varepsilon_p = 400-800\%$, $a = 80$ кДж/м²;

$T = 20 - 25^\circ\text{C}$

Полистирол – $\varepsilon_p = 1-3\%$, $a = 2-3$ кДж/м²;

Поливинилхлорид – $\varepsilon_p = 10-50\%$, $a = 70-150$ кДж/м²;

Политетрафторэтилен - $\varepsilon_p = 250-500\%$, $a = 100$ кДж/м²;

Полиэтилентерефталат - $\varepsilon_p = 80-130\%$, $a = 90$ кДж/м²;

Полиамиды - $\varepsilon_p = 100-250\%$, $a = 100-140$ кДж/м²;

Фенолформальдегидные смолы $\varepsilon_p \sim 1\%$, $a = 2.5-5$ кДж/м²;

Полиметилметакрилат - $\varepsilon_p = 2-3\%$, $a = 14-30$ кДж/м²;

Силикатное стекло $\varepsilon_p < 0.1\%$, $a \sim 1$ кДж/м²

Поликарбонат - $\varepsilon_p = 50-110\%$, $a = 120 - 140$ кДж/м²;

- 1) Воздействие внешней механической силы на полимеры приводит к их деформации. Различают деформации растяжения, сжатия, кручения и сдвига. Для изотропного материала, подчиняющегося закону Гука, модули упругости связаны друг с другом через коэффициент Пуассона.
- 2) При выбранной температуре основными механическими характеристиками твердого полимерного материала являются модуль Юнга (E), разрывное удлинение (ϵ_p), разрушающее напряжение (σ_p), тангенс угла механических потерь ($\operatorname{tg}\delta$) и ударная вязкость (a). Зная эти параметры, можно количественно сравнивать жёсткость, прочность, пластичность, способность рассеивать механическую энергию и хрупкость различных полимерных материалов.