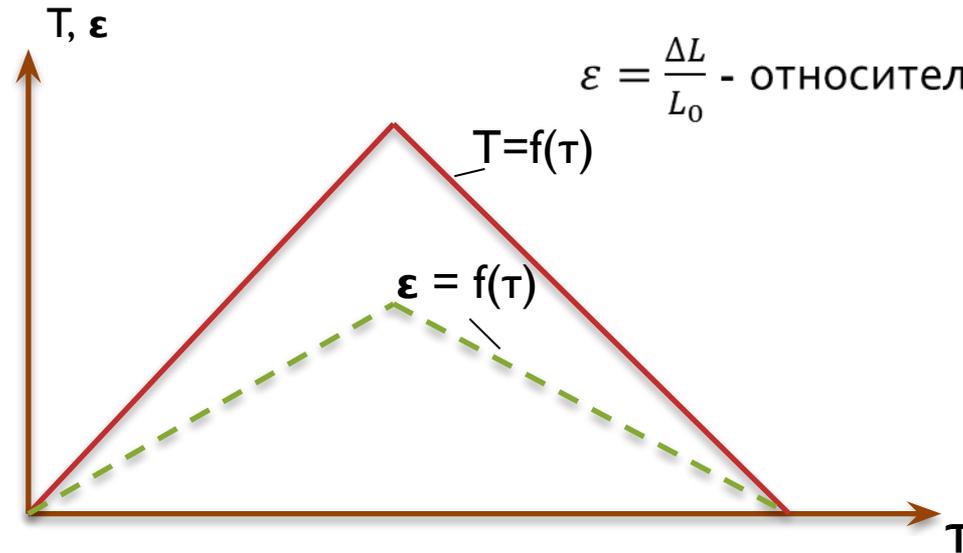
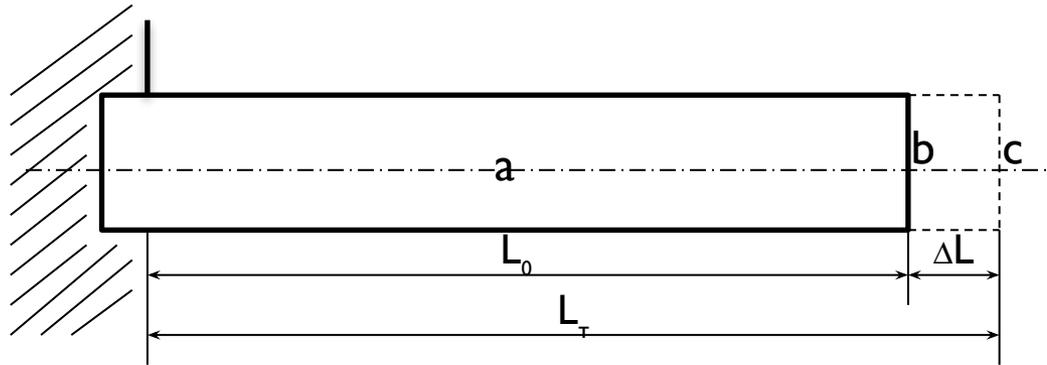


# Образование напряжений и деформаций при нагреве стержня.

I. Стержень свободный в увеличении и уменьшении длины.



$$L_T = L_0 \times (1 + \alpha \Delta T)$$

$$\Delta L = L_T - L_0 = L_0 + L_0 \alpha \Delta T - L_0 = \alpha L_0 \Delta T$$

$$\Delta L / L_0 = \varepsilon = \alpha \Delta T$$

$\alpha$  - коэффициент температурно-линейного расширения.

$\Delta T$  - приращение температуры.

## 2. Стержень ограничен в перемещении.

### Составляющие сварочных деформаций:

1) Свободные деформации, которые определяются нагревом и структурными превращениями.

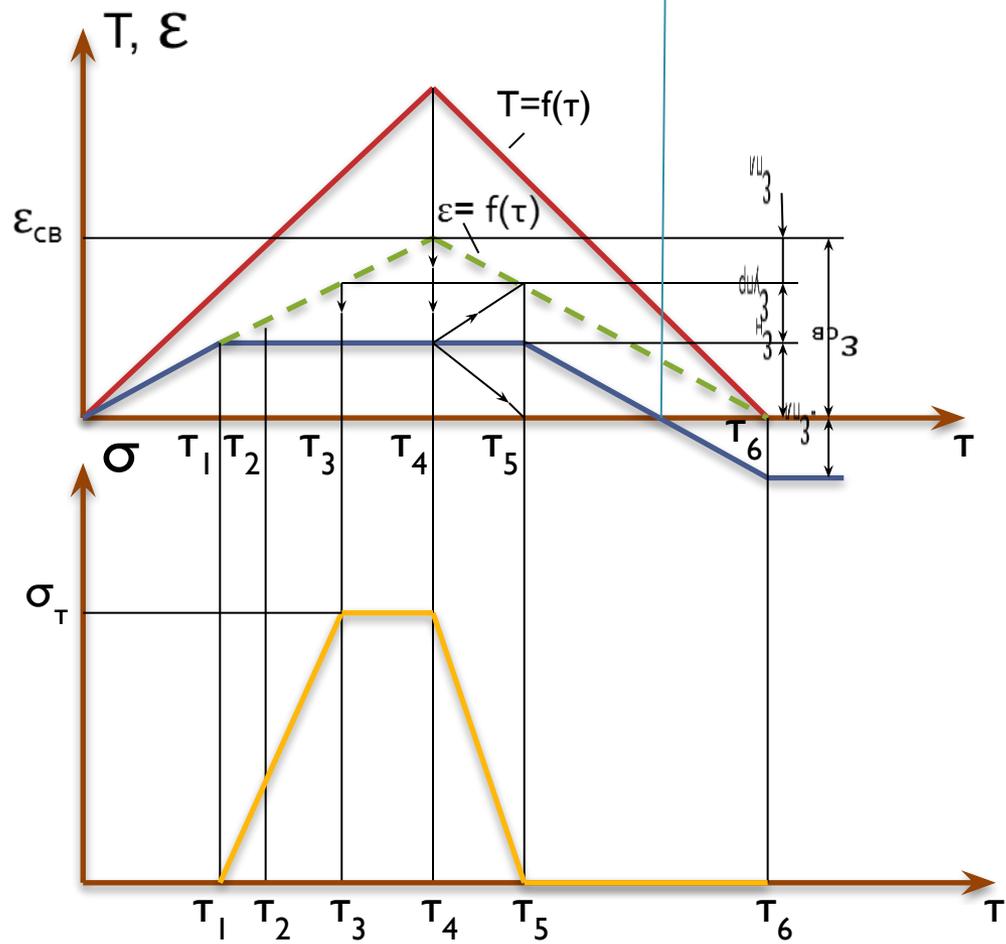
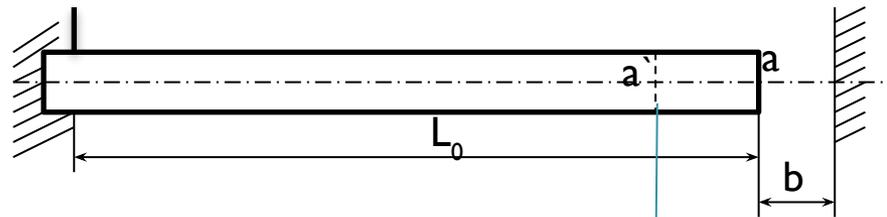
$$\varepsilon_{\text{св.}} = \alpha \Delta T$$

2) Собственные (внутренние) деформации.

$$\varepsilon_{\text{вн.}} = \varepsilon_{\text{упр.}} + \varepsilon_{\text{пл.}}, \quad \varepsilon_{\text{упр.}} - \text{упругие}; \quad \varepsilon_{\text{пл.}} - \text{пластические.}$$

3) Наблюдаемые деформации.

$$\varepsilon_{\text{н}} = \varepsilon_{\text{в}} - \varepsilon_{\text{вн.}}, \quad \varepsilon_{\text{н}} = b / L_0$$



Расчет деформаций проводим как для упругопластического тела, т.е. выполняется зависимость  $\sigma(\varepsilon)$  как на рис. 1.

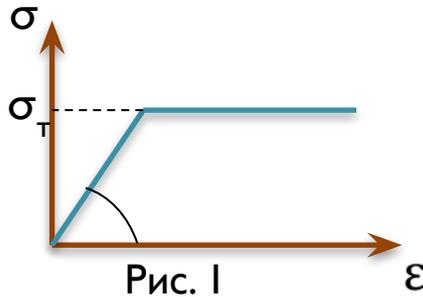


Рис. 1  
Схема упругопластического тела

$$\operatorname{tg} \alpha = E = \sigma / \varepsilon$$

$E$  - модуль упругости.

$$\varepsilon_{\text{пл.мах}} = \varepsilon_{\text{св}} - \varepsilon_{\text{упр}} - \frac{b}{L_0}$$

При нагреве стержня до времени  $\tau_1$  происходит свободная деформация стержня и сопротивления его температурной деформации не наблюдается.

При нагреве стержня в интервале времени от  $\tau_1$  до  $\tau_3$  происходит упругая деформация стержня, при этом напряжения увеличиваются по линейному закону.

От  $\tau_3$  до  $\tau_4$  уровень напряжений остается постоянным, происходит пластическая деформация стержня. При  $\tau_4$  достигается максимальная температура.

Снижение температуры в интервале времени от  $\tau_4$  до  $\tau_5$  сопровождается уменьшением напряжений. При  $\tau_5$   $\sigma=0$ .

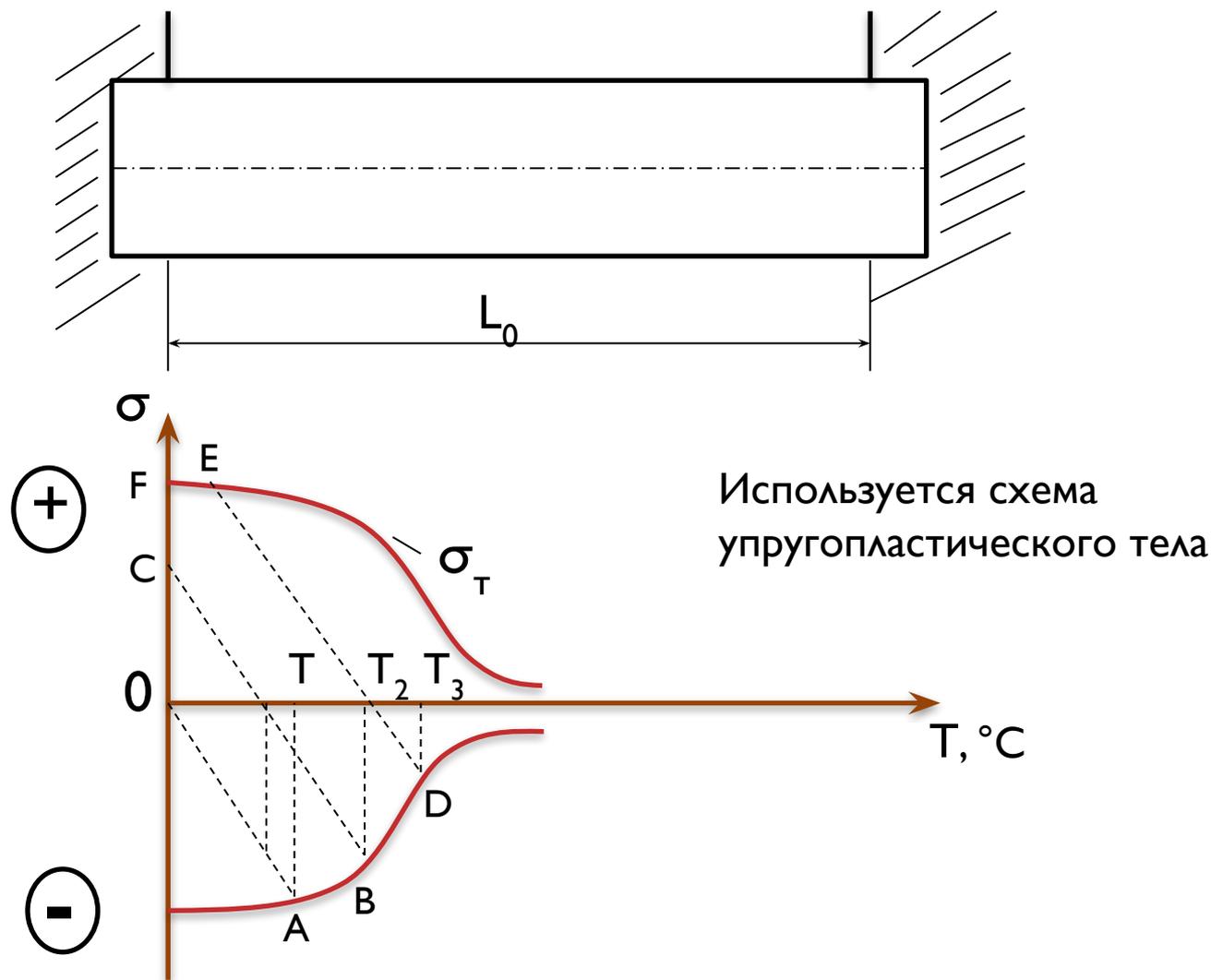
В этом интервале времени происходит снижение температурной деформации (стержень укорачивается), но этот процесс сопровождается релаксацией упругих напряжений (стержень удлиняется). В момент времени  $\tau_5$  релаксация напряжений заканчивается ( $\sigma=0$ ), после чего стержень укорачивается (свободно) только за счет изменения температуры до момента времени  $\tau_6$ .

Пластическая деформация реализуется в ограничении напряжений (от  $\tau_3$  до  $\tau_4$ ) и укорочении стержня при охлаждении до комнатной температуры.

$$\varepsilon_{\text{пл. max}} = \varepsilon_{\text{св}} - \varepsilon_{\text{упр}} - b/L_0$$

(величина запрещенной деформации к концу нагрева)

3. Стержень изначально ограничен в перемещениях (при анализе учесть изменение свойств материалов при повышении температуры).





Если стержень нагревается до  $t_1$ , то он упруго деформируется, поэтому если произвести охлаждение стержня, нагретого до этой температуры, то при исходной температуре напряжения в стержне будут отсутствовать.

Если стержень нагревать выше температуры  $T_1$ , то в стержне будут развиваться  $\epsilon_{пл.}$ , а напряжения будут сохраняться на уровне предела текучести (участок АВ).

Если провести охлаждение от температуры  $T_2$ , то уровень сжимающих напряжений будет снижаться, при некоторой температуре достигшей 0. А затем в стержне будут развиваться растягивающие напряжения, которые достигнут некоторого уровня, определяемого  $t. C$ . При дальнейшем нагреве до температуры  $T_3$ , в стержне будет увеличиваться уровень пластических деформаций в стержне. При этом напряжения сохраняются на уровне  $\sigma_T$ .

Если провести охлаждение от этой температуры, то в какой то момент времени напряжения в стержне станут равны нулю, а затем поменяют свой знак и будут возрастать вплоть до предела текучести ( $t.E$ ). Дальнейшее охлаждение приведет к тому, что растягивающие напряжения будут сохраняться на уровне  $\sigma_T$ .