



# Остаточные напряжения и деформации при сварке

# Структура дисциплины

№	Наименование раздела	Текущий контроль (недели и обязательные текущие контрольные мероприятия)	Рубежный контроль (неделя и форма контроля раздела)	Макс./мин. балл
1	Образование сварочных напряжений и деформаций	3ПР	8 Т	20/12
2	Влияние остаточных напряжений на работоспособность сварных конструкций	10ПР	12 Т	20/12
3	Методы уменьшения сварочных напряжений и деформаций	14ПР	17 Т	20/12
<b>Зачет</b>				40/24
<b>Итого:</b>				100/60

# ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

## а) основная литература

1. Дедюх Р.И. Теория сварочных процессов. Превращения в металлах при сварке [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Дедюх Р.И.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский политехнический университет, 2012.— 155 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55210>. — ЭБС «IPRbooks», по паролю

## б) дополнительная литература

1 Николаев, Г. А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформации конструкций [Текст] : учеб. пособие / Г. А. Николаев, С. А. Куркин, В. А. Винокуров. - М.: Высш. шк., 1982. - 272 с.: ил.

2 Серенко, А.Н. Расчет сварных соединений и конструкций. Примеры и задачи [Текст] / А. Н. Серенко, М. Н. Крумбольдт, К. В. Багрянский. – Киев : Вища шк., 1977. - 336 с.

3 Винокуров, В. А. Отпуск сварных конструкций для снижения напряжений [Текст] / В. А. Винокуров. - М. : Машиностроение, 1973. – 213 с.

## в) ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

4. ЭБС НИЯУ МИФИ: [http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK](http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK)

5. ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru/33275.html>

6. ЭБС «Лань»: <http://e.lanbook.com/books/>

# **Образование сварочных напряжений и деформаций**

# ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

**Механическое напряжение** — это мера внутренних сил, возникающих в деформируемом теле под влиянием различных факторов.

Механическое напряжение в точке тела определяется как отношение внутренней силы к единице площади в данной точке рассматриваемого сечения.

**Собственные напряжения** – напряжения, которые существуют в изделии без приложения внешних сил (поверхностных или объемных, инерционных, гравитационных и т.п.)

**Деформация** (от лат. *deformatio* — «искажение») — изменение взаимного положения частиц тела, связанное с их перемещением друг относительно друга.

Деформация представляет собой результат изменения межатомных расстояний и перегруппировки блоков атомов.

В процессе и по окончании сварки всегда возникают сварочные деформации

# КЛАССИФИКАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ

В зависимости от причины, вызвавшей напряжения различают:

Тепловые  
напряжения

- Вызванные неравномерным распределением температуры при сварке

Структурные  
напряжения

- Возникающие вследствие структурных превращений, сопровождающихся переохлаждением аустенита в околосшовной зоне и образованием продуктов закалки мартенсита, объем которого больше объема исходной структуры.

## В зависимости от времени существования собственных напряжения и деформаций различают:

Временные  
(переменные  
)

- Существующие в конструкции лишь в определенный момент времени.
- Если при этом возникшие напряжения не превысят предела упругости, временные напряжения и деформации исчезают после охлаждения изделия

остаточные

- Остаются в изделии после исчезновения причины, их вызвавшей.
- Эти напряжения и деформации также возникают вследствие неравномерного нагрева. Но при этом в отдельных объемах нагреваемого изделия должны иметь место термопластические деформации или структурные превращения с образованием продуктов закалки.

**В зависимости от размеров области, в пределах которой имеют место и взаимно уравниваются внутренние напряжения, различают:**

**Напряжения  
первого рода**

- Действуют и уравниваются в крупных объемах, соизмеримыми в размерами изделия или отдельных его частей
- Определяются экспериментально или расчетным путем

**Напряжения  
второго рода**

- Уравниваются в микрообъемах тела в пределах одного или нескольких зерен металла, не имеют определенной ориентировки и не зависят от формы изделия
- Определяются рентгеноструктурным анализом

**Напряжения  
третьего  
рода**

- Уравниваются в объемах, соизмеримых с атомной решеткой, связаны с искажением атомной решетки, возникают, например, при образовании растворов внедрения
- Определяются рентгеноструктурным анализом

По направлению действия напряжений и деформаций различают:

продольны  
е

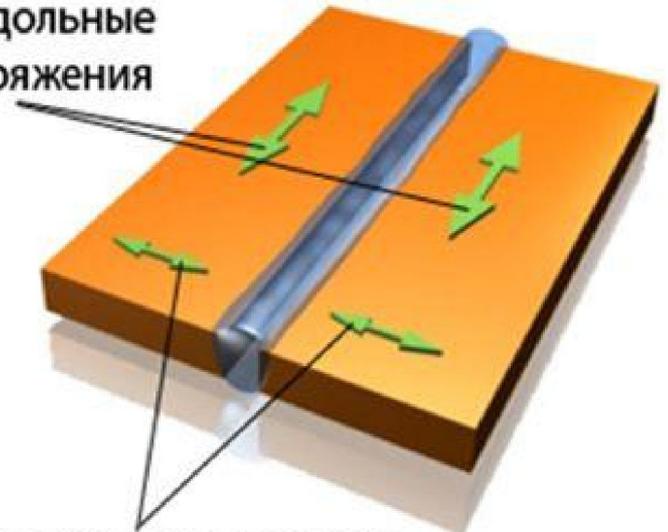
- Вдоль (параллельно) оси шва)

поперечны  
е

- Перпендикулярно оси шва

продольные  
напряжения

поперечные  
напряжения



## По виду напряженного состояния сварочные напряжения делятся на:

Линейные  
(одноосные)

- Действуют только по одной оси в одном направлении

Плоскостные  
(двухосные)

- Действуют в двух направлениях

Объемные  
(трехосные)

- Действуют в трех направлениях

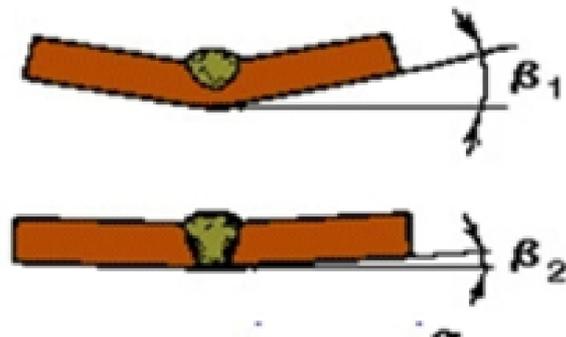
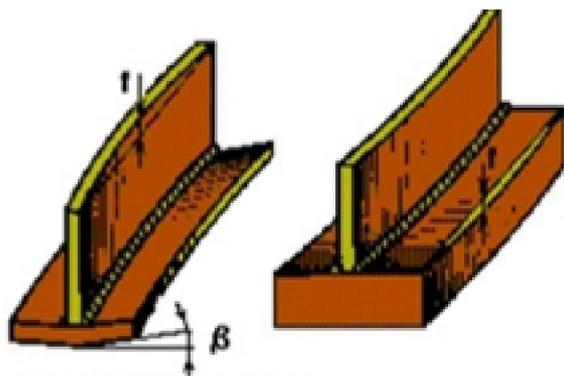
# В зависимости от изменения при сварке форм и размеров изделия различают:

## Деформация в плоскости

- Проявляются в изменении формы и размеров детали в их плоскости
- Могут быть продольными, поперечными и изгиба

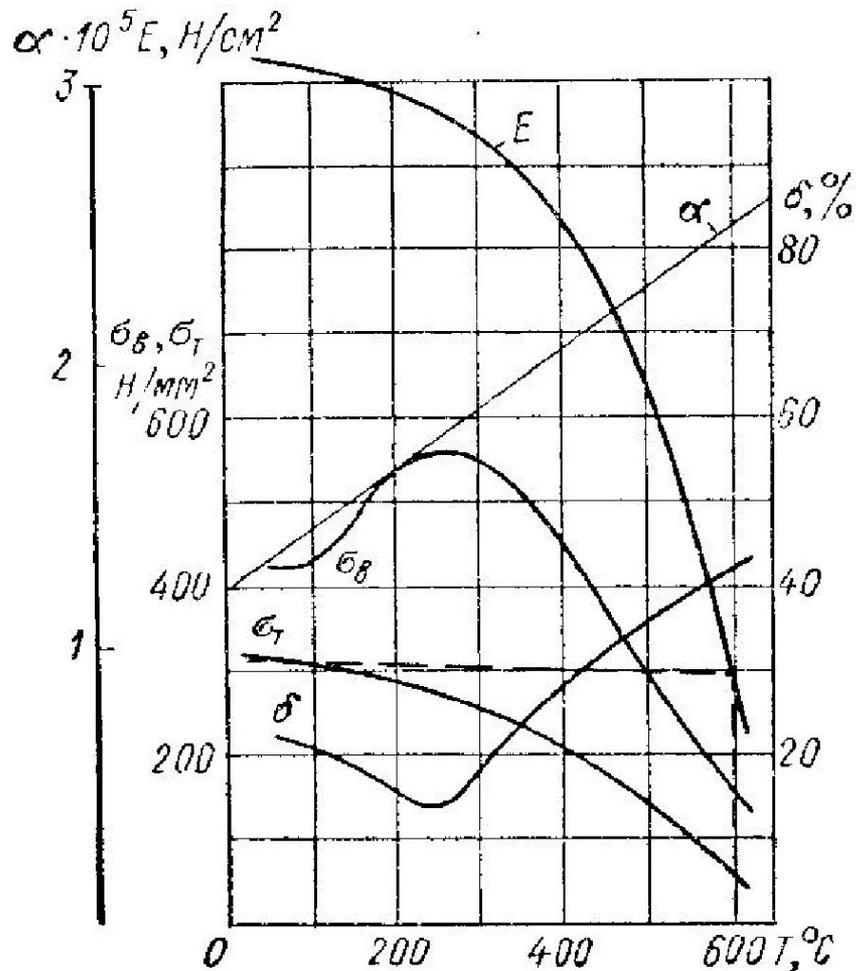
## Деформации из плоскости (угловая деформация)

- Проявляются в образовании поперечных или продольных волн, изломов плоскости свариваемых листов или элементов изделия и т. п.



# Схема образования сварочных напряжений и деформаций

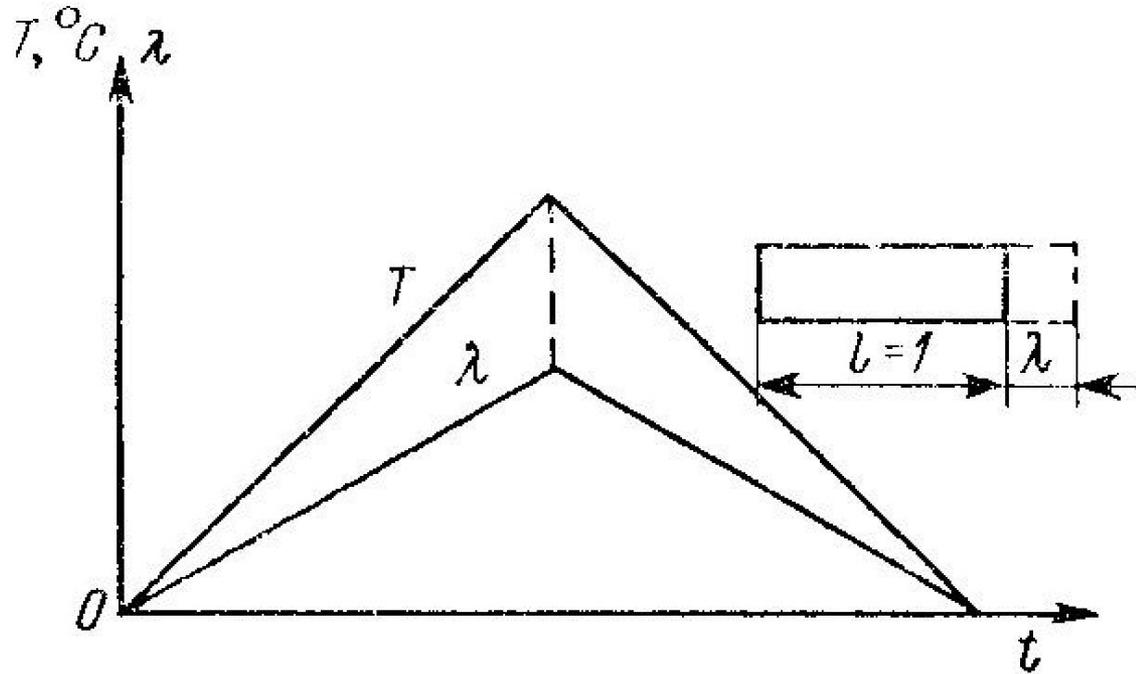
Изменение свойств низкоуглеродистой стали в зависимости от температуры



- $\alpha$  - коэффициент линейного теплового расширения
- $\delta$  - относительное удлинение
- $\sigma_{\text{в}}$  - предел прочности стали
- $\sigma_{\text{т}}$  - предел текучести
- $E$  - модуль упругости стали

# Деформации и напряжения при равномерном нагреве

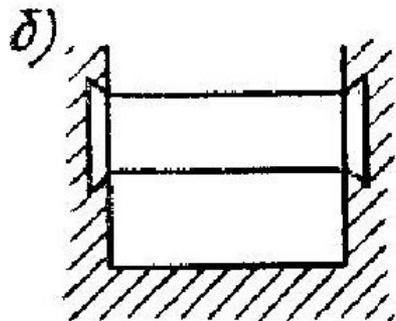
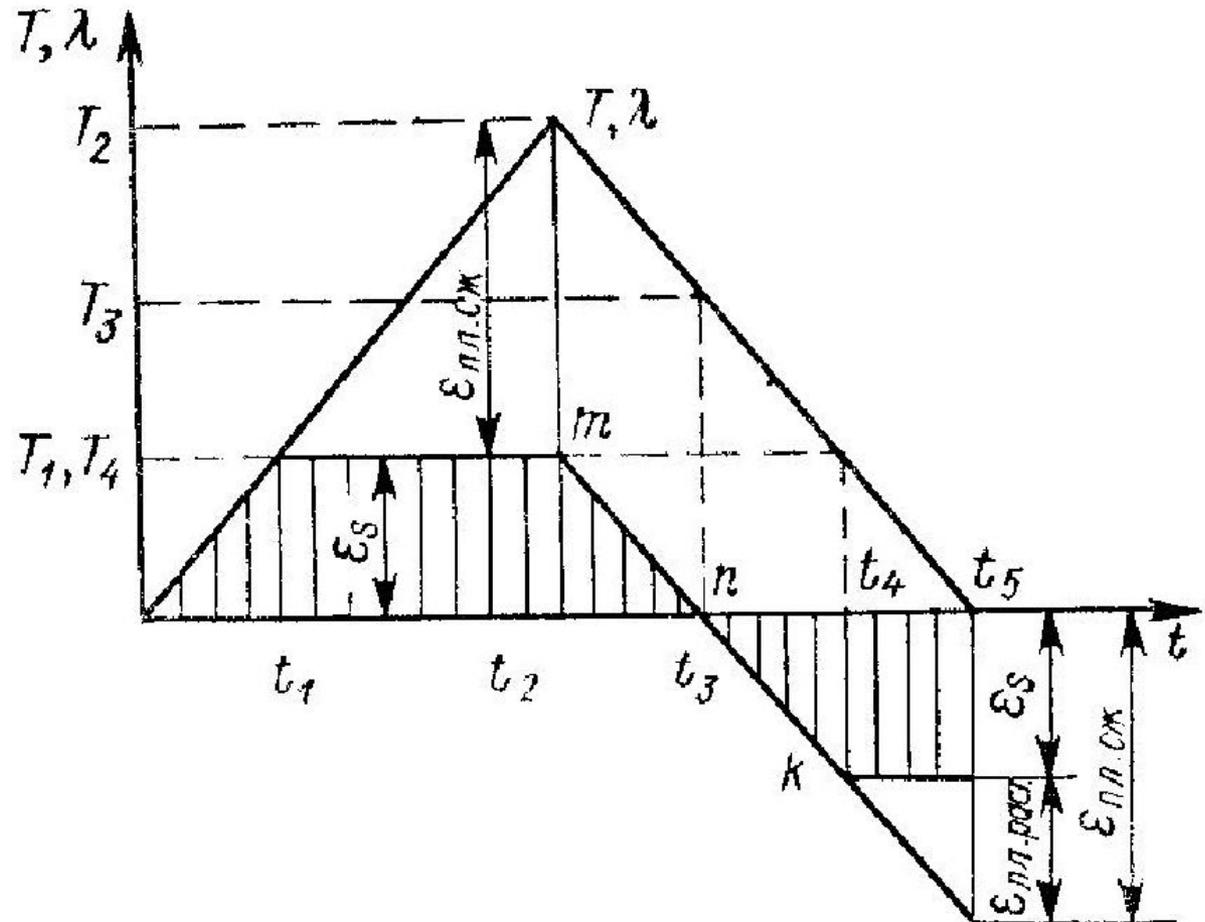
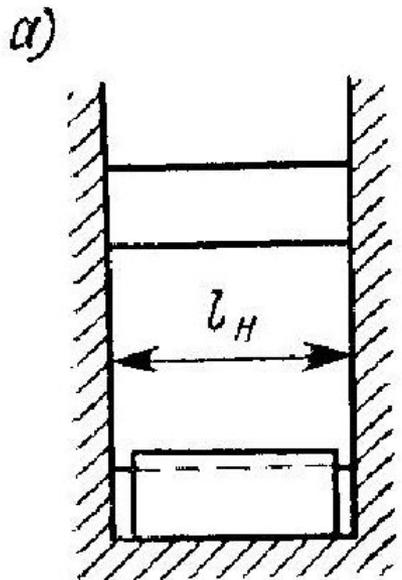
Изменение размеров незакрепленного стержня при изменении температуры



$\lambda$  - относительные деформации

$$\lambda = \Delta l / l = \alpha T.$$

# Изменение деформаций и напряжений при нагрузке и охлаждении стержней



а – равномерный нагрев стержня, упирающегося концами в жесткие стенки;

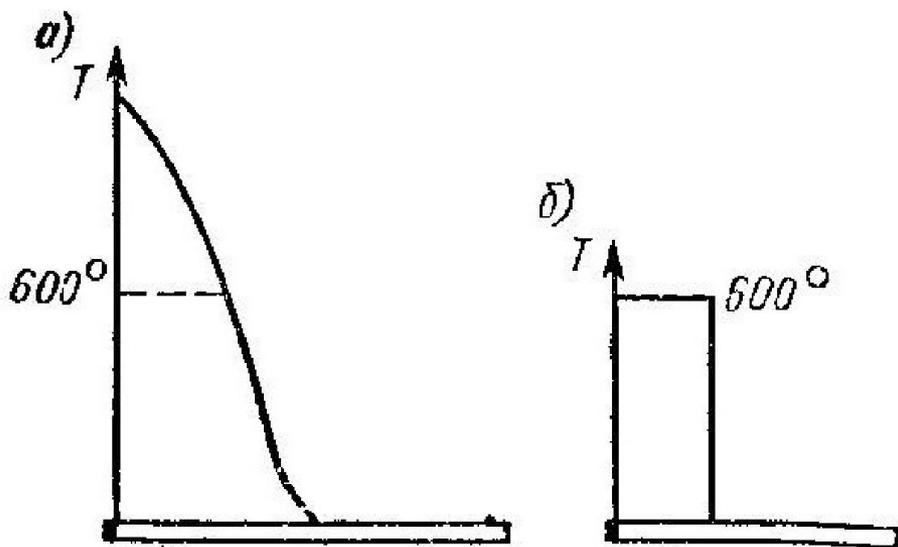
б – равномерный нагрев жестко закрепленного стержня

## Результаты равномерного нагрева стержня

равномерный нагрев незакрепленного стержня	Вернется к исходному размеру после остывания
равномерный нагрев стержня, упирающегося концами в жесткие стенки	Укоротится на $\Delta l = \alpha T_3 l$
равномерный нагрев жестко закрепленного стержня	Появление напряжений, равных пределу текучести растяжения и пластических деформаций сжатия и растяжения

# Деформации и напряжения при неравномерном нагреве

Распределение температуры при наплавке валика на кромку полосы



а – действительное; б - схематизированное

$$l_T = l_0 (1 + \alpha T)$$

$\alpha$  - коэффициент линейного расширения

Схема развития деформаций и напряжений при наплавке валика на кромку полосы

