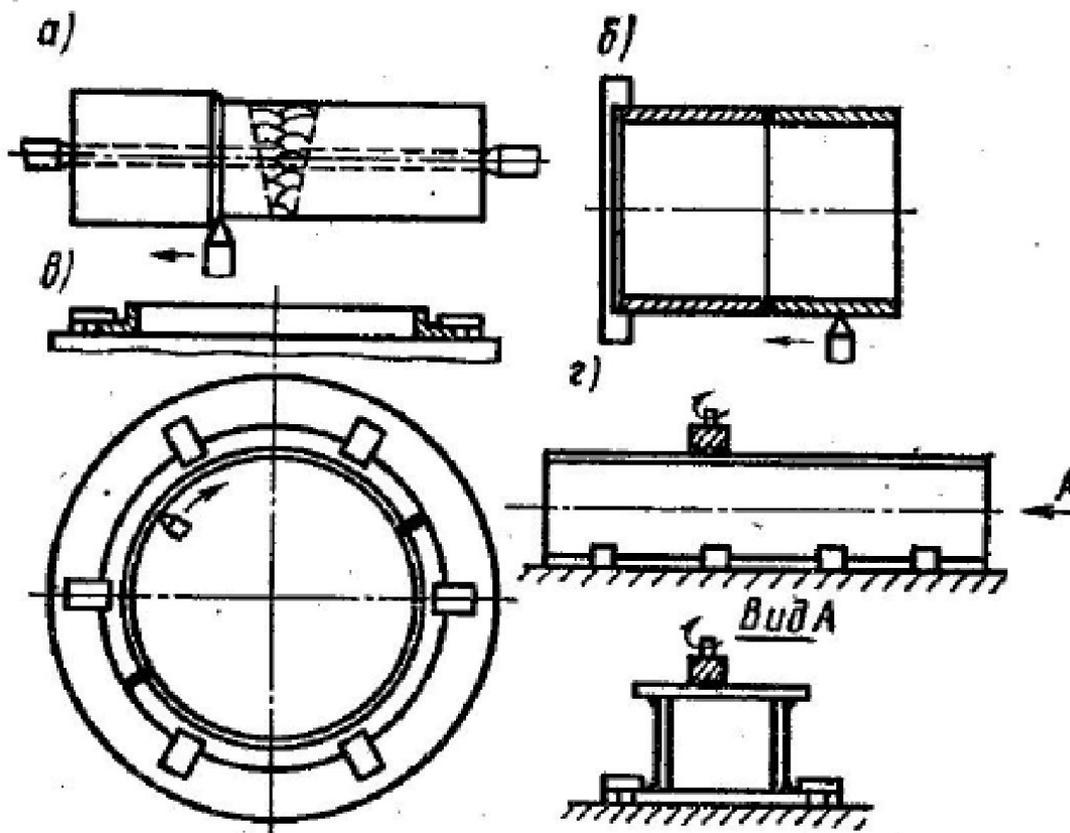


**Влияние сварочных  
напряжений и деформаций на  
работоспособность  
конструкций и технологию их  
производства**

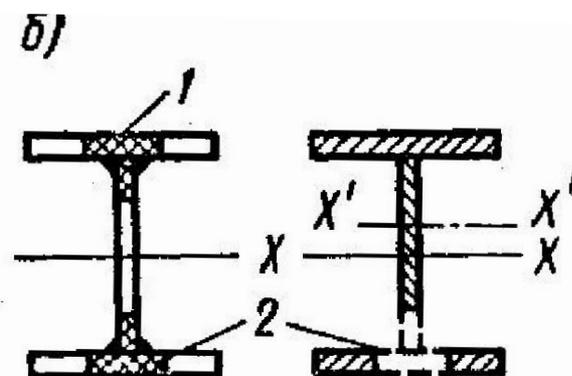
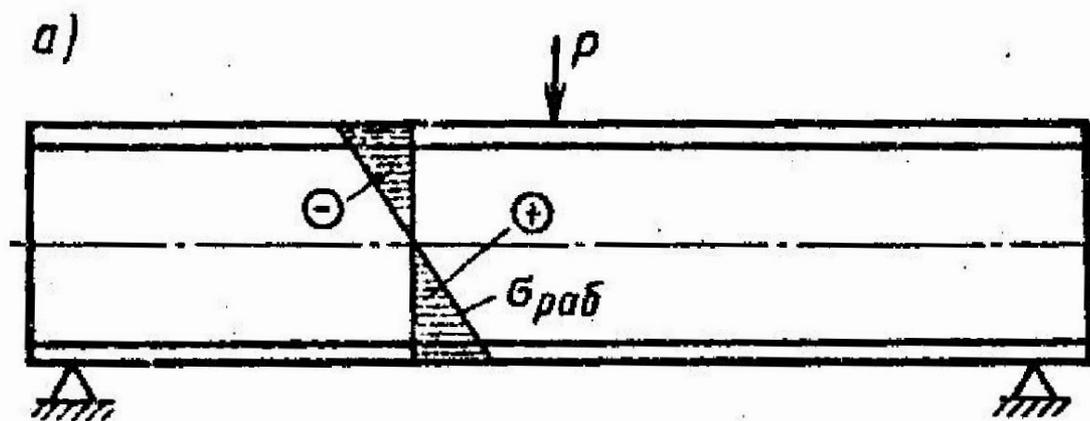
# ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ:

## 1. ИЗМЕНЕНИЕ РАЗМЕРОВ И ФОРМ СВАРНЫХ ДЕТАЛЕЙ

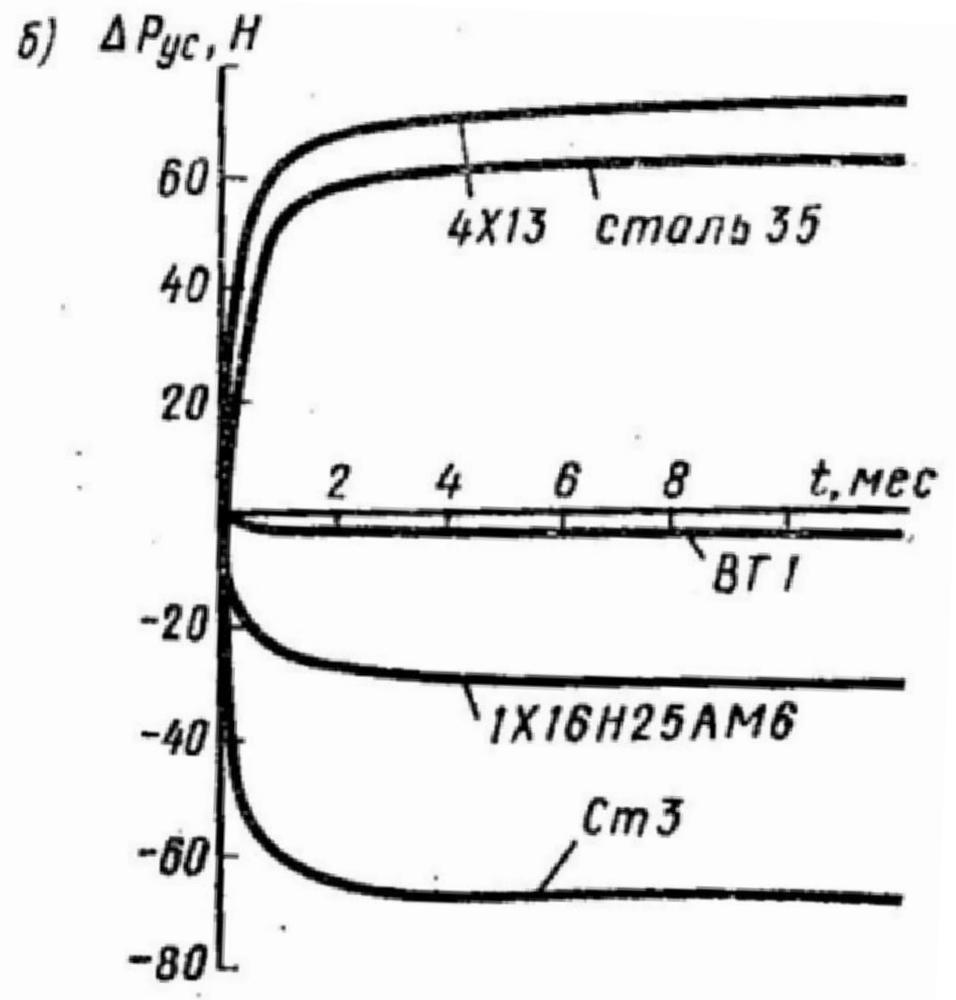
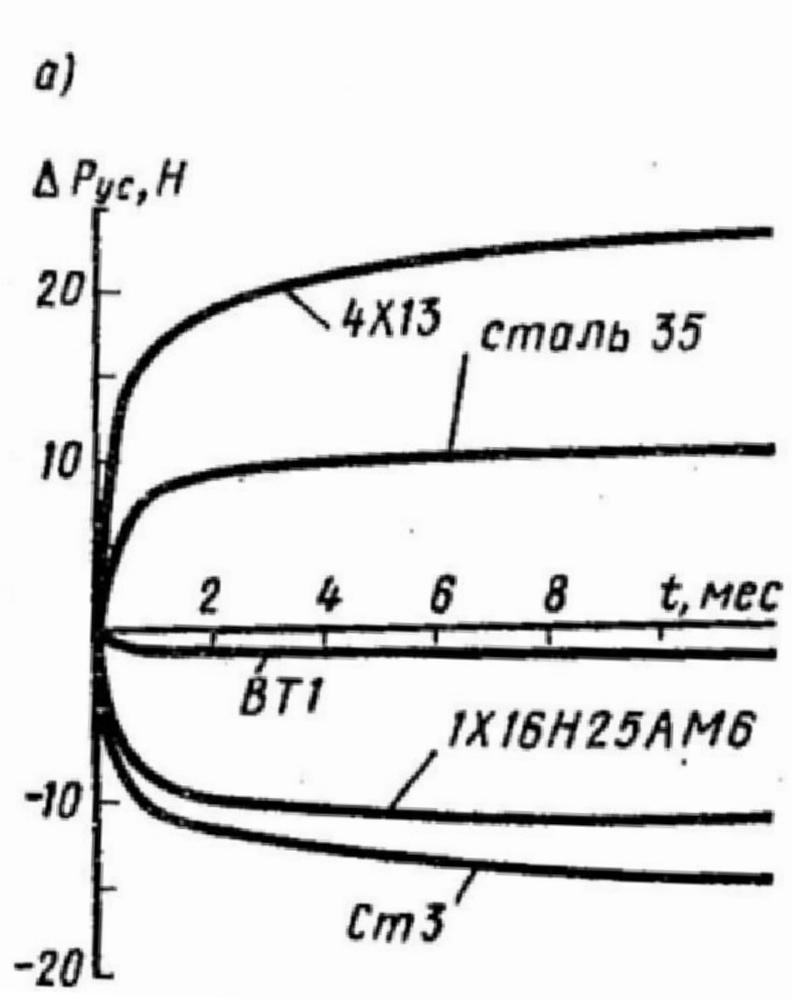
Примеры механической обработки деталей, сопровождающейся их деформацией



# Нагружение сварной балки с остаточными напряжениями



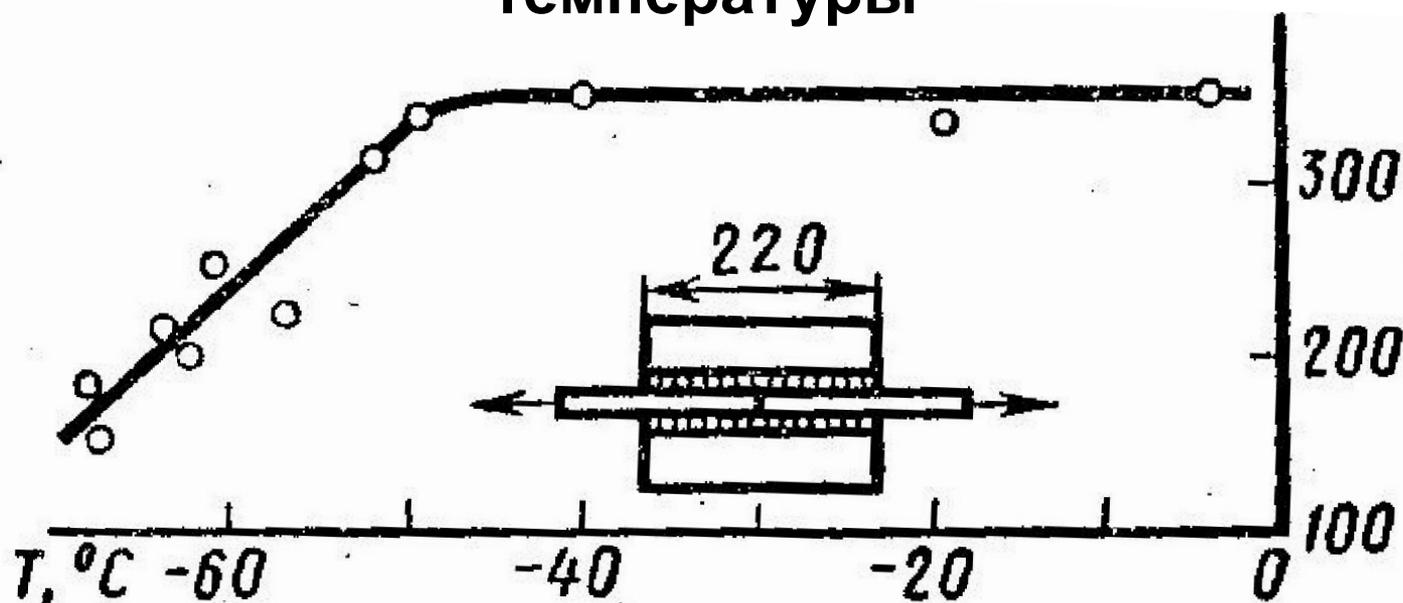
# Изменение усадочной силы с течением времени



## 2. СНИЖЕНИЕ ВИБРАЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАСТЯГИВАЮЩИМИ ОСТАТОЧНЫМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ

## 3. СНИЖЕНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ

Изменение предела прочности сварных крестовых образцов в зависимости от температуры



4. СЖИМАЮЩИМИ ОСТАТОЧНЫМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ ПОНИЖАЕТСЯ МЕСТНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ТОНКОСТЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СС.

5. КОРРОЗИОННОЕ РАСТРЕСКИВАНИЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ ОСТАТОЧНЫХ РАСТЯГИВАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ.

6. ОСТАТОЧНЫЕ РАСТЯГИВАЮЩИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ЯВЛЯЮТСЯ НЕОБХОДИМЫМ УСЛОВИЕМ ПОЯВЛЕНИЯ ХОЛОДНЫХ ТРЕЩИН В ЗАКАЛИВАЮЩИХСЯ СТАЛЯХ.

7. ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ЯВЛЯЮТСЯ НОСИТЕЛЯМИ ЭНЕРГИИ УПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ.

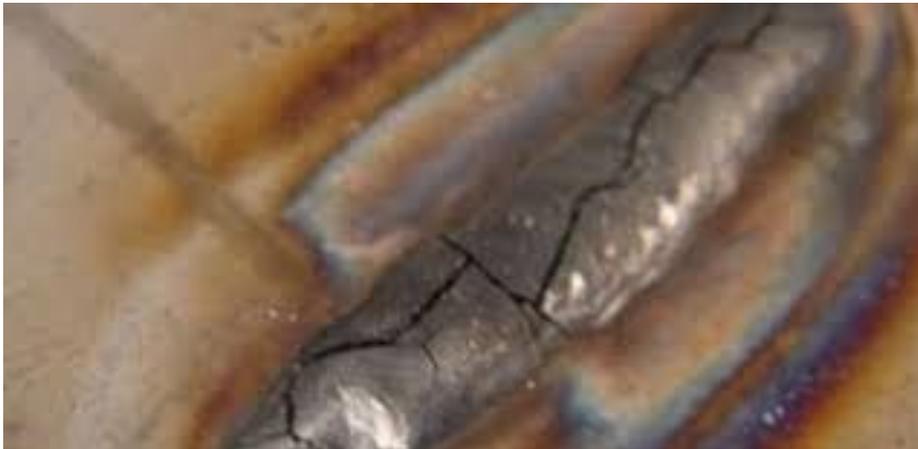
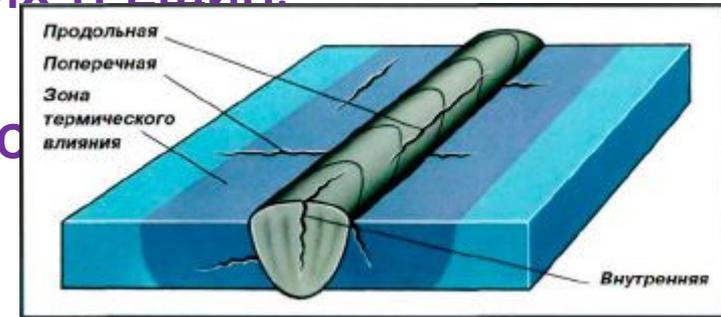
# ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ, ВЫЗЫВАЕМЫХ СВАРКОЙ

1. ДЕФОРМАЦИИ В ЗОНЕ КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕГОСЯ МЕТАЛЛА МОГУТ ПРИВЕСТИ К ОБРАЗОВАНИЮ ГОРЯЧИХ ТРЕЩИН.

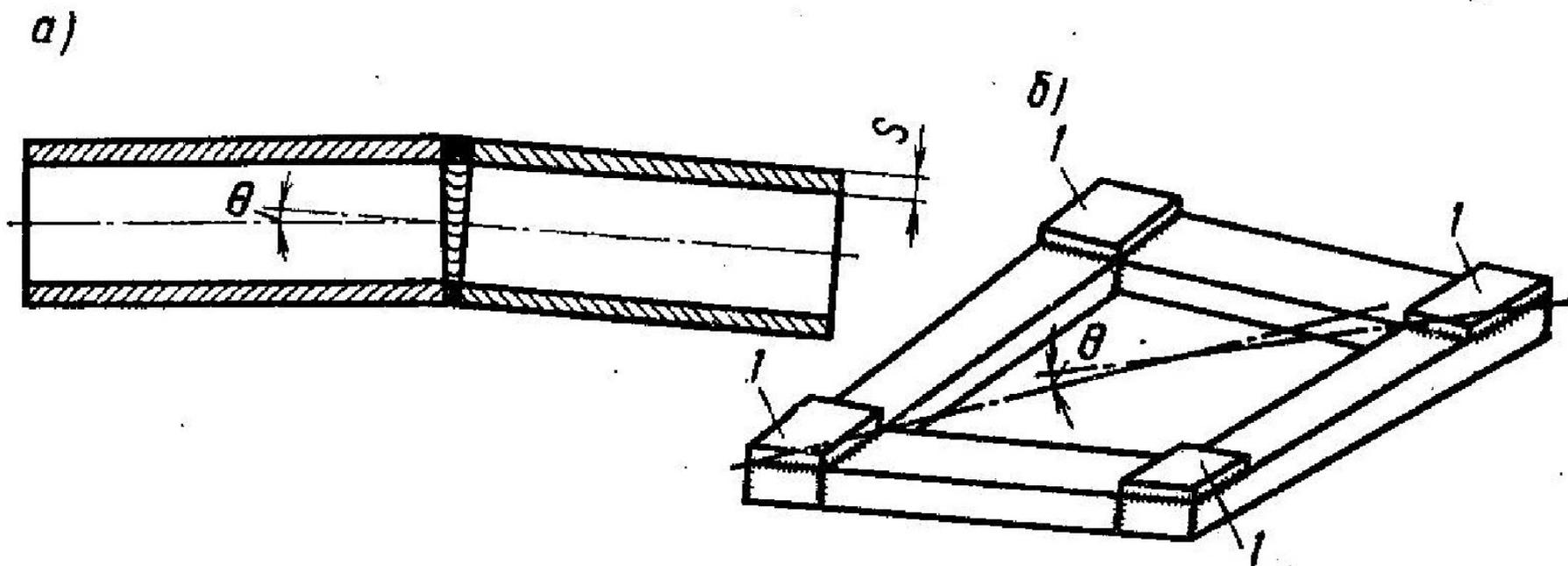
2. ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В ЗОНЕ ФОРМИРОВАНИЯ С

3. ЗАТРУДНЕНИЕ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ СБОРКИ.

4. НЕОБХОДИМОСТЬ ЗАВЫШЕНИЯ ПРИПУСКОВ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ



**Перемещения в сварных деталях,  
вызывающие увеличение припуска на  
механическую обработку**

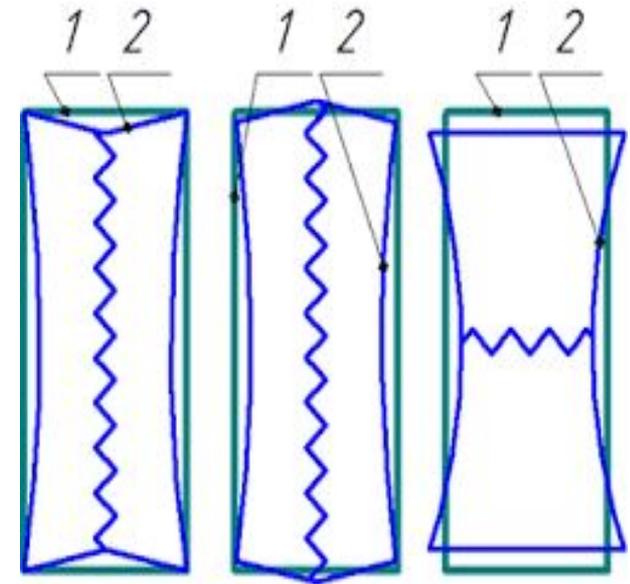


5. ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЧЕНИЙ  
СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

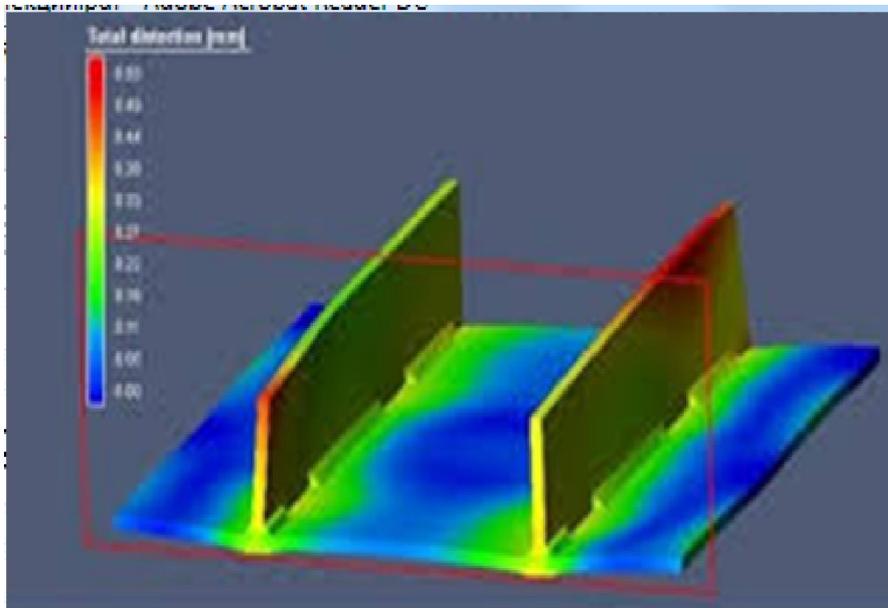
6. СНИЖЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОСОБЕННО  
МЕСТНОЙ

7. УВЕЛИЧЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОТОКУ  
ИЗ-ЗА ИСКАЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ  
(энергоустановки, суда, летательные аппараты)

8. НАРУШЕНИЙ ТРЕБОВАНИЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ  
ЭСТЕТИКИ, УХУДШЕНИЕ ТОВАРНОГО ВИДА И



# МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ, ДЕФОРМАЦИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В КОНСТРУКЦИЯХ



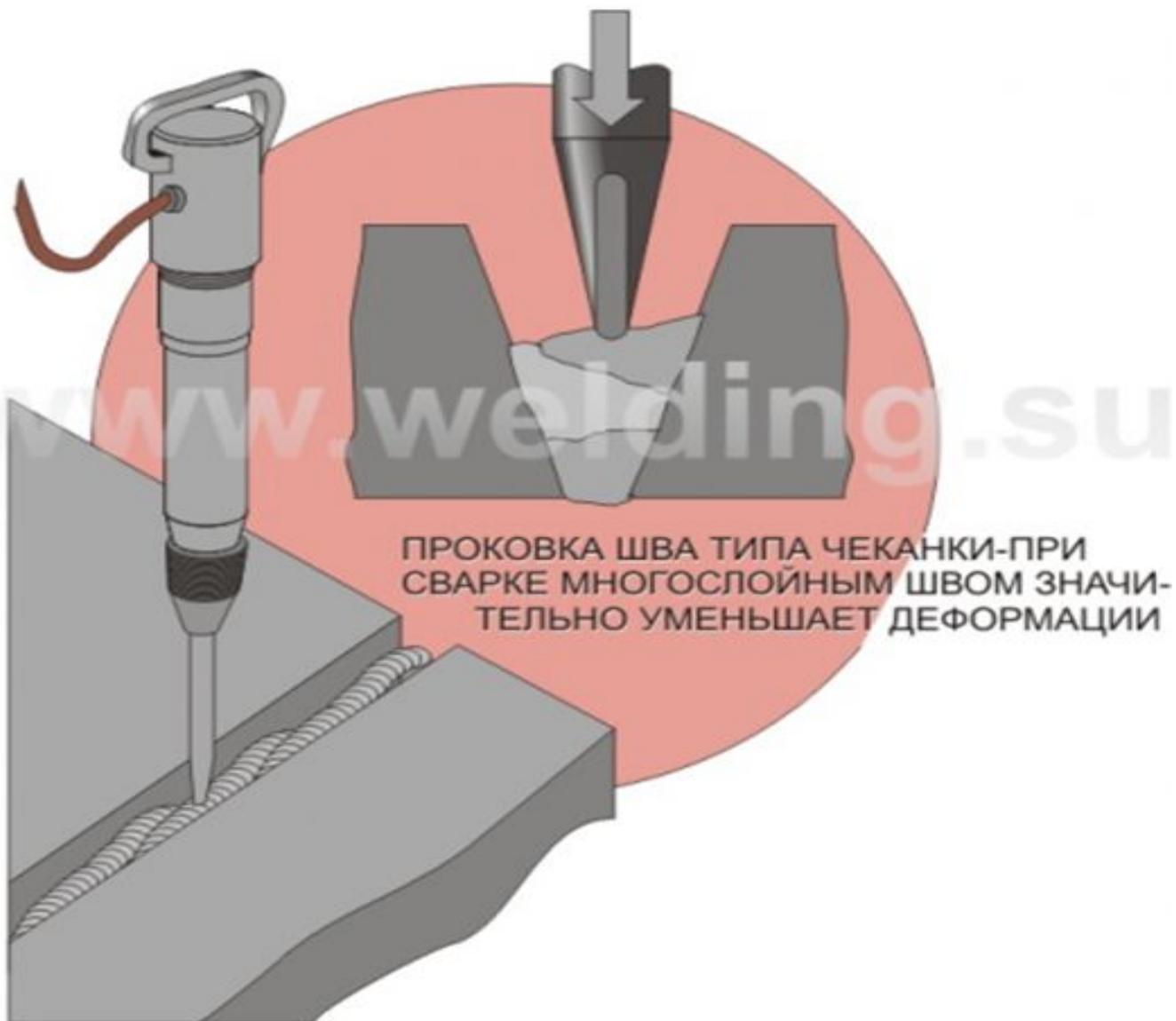
## Основные способы:

Уменьшение объема металла, вовлекаемого в пластическую деформацию на стадии его нагрева, и уменьшение самой пластической деформации

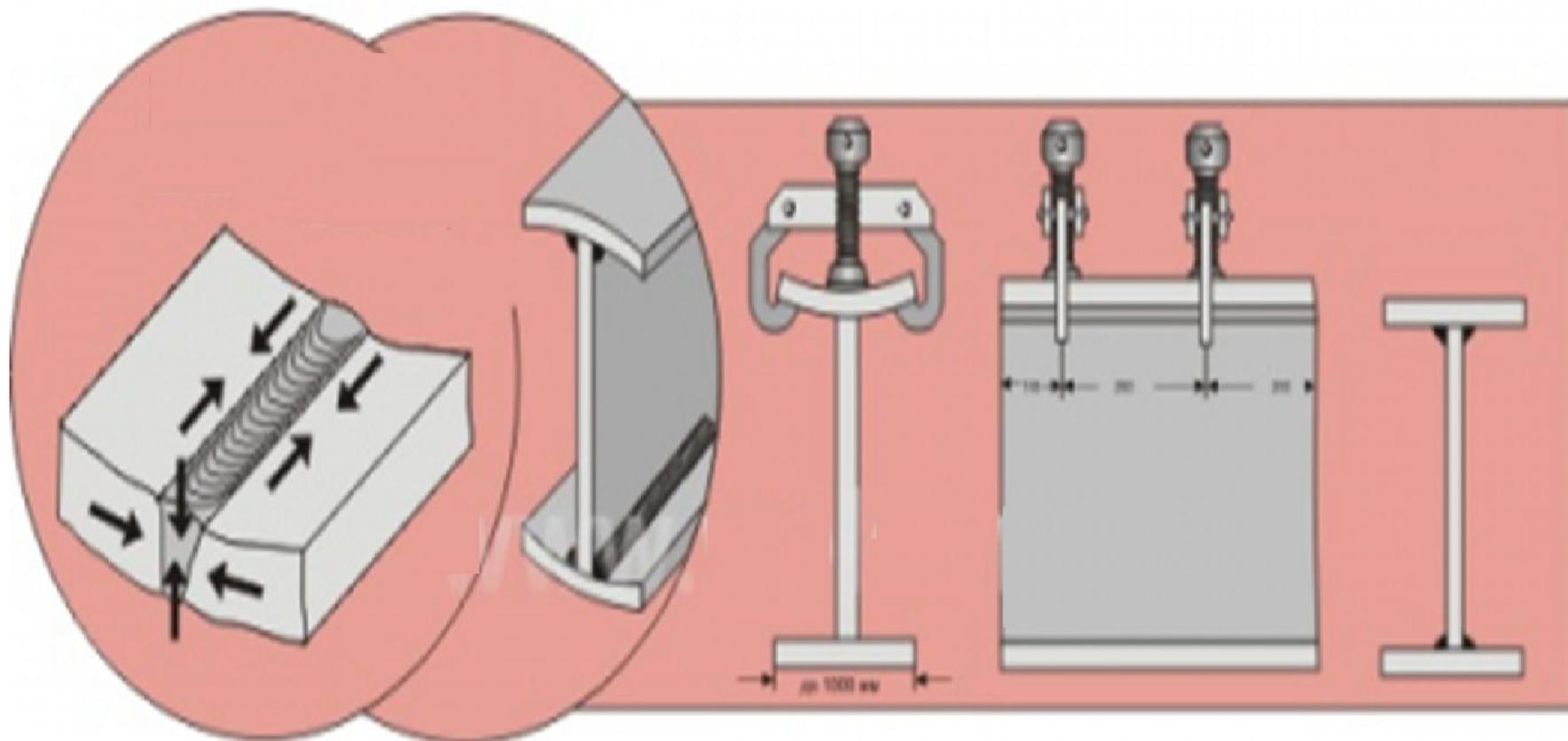
Создание в зонах пластических деформаций, возникших от нагрева, дополнительных деформаций противоположного знака (может быть выполнено как при остывании, так и после полного охлаждения)

Компенсация возникающих деформации и перемещении путем симметричного расположения швов, создания зон дополнительной пластических деформаций, предварительного перемещения, обеспечения свободной усадки и т.п.

## СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ

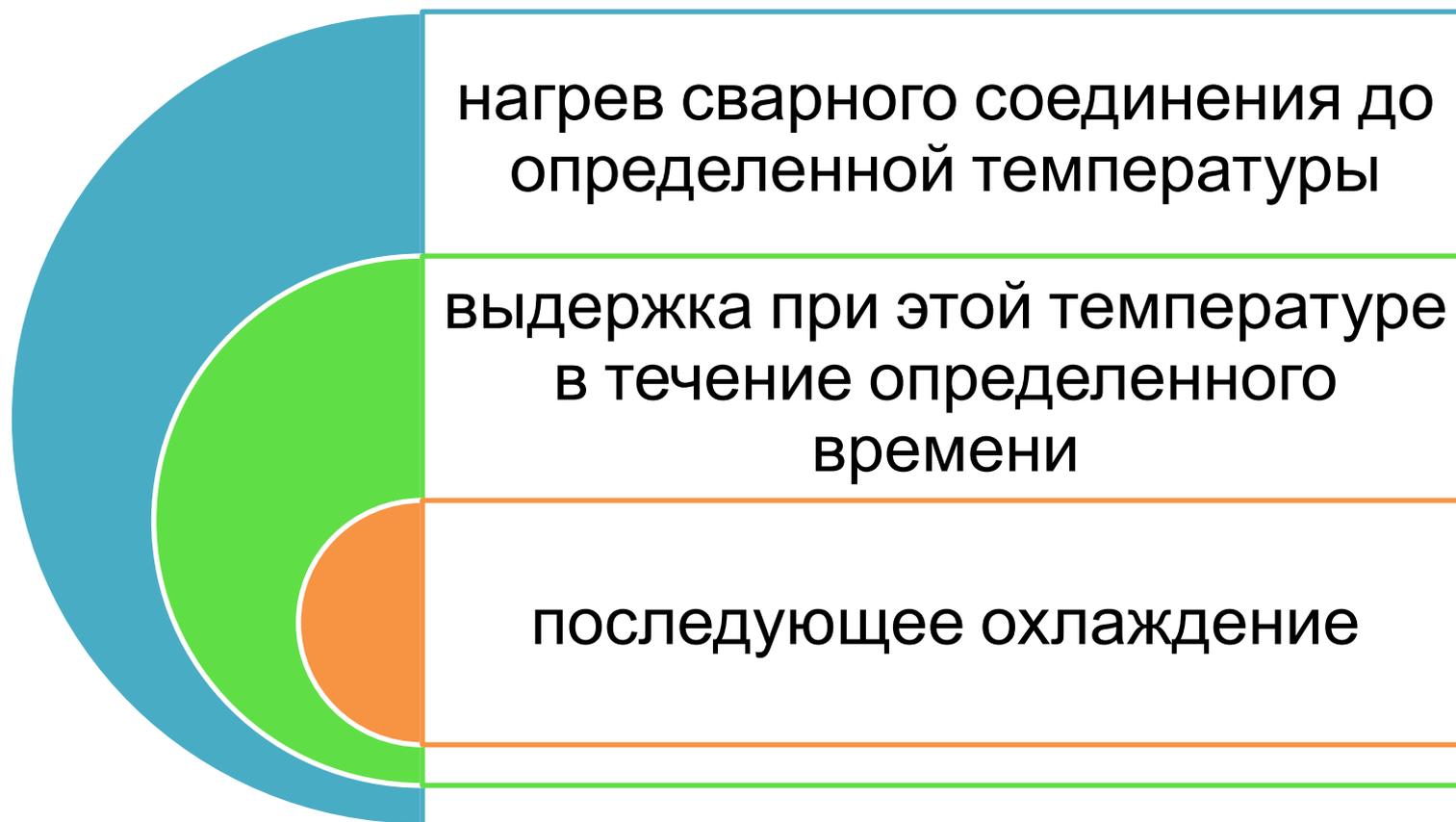


# СОЗДАНИЕ ОБРАТНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

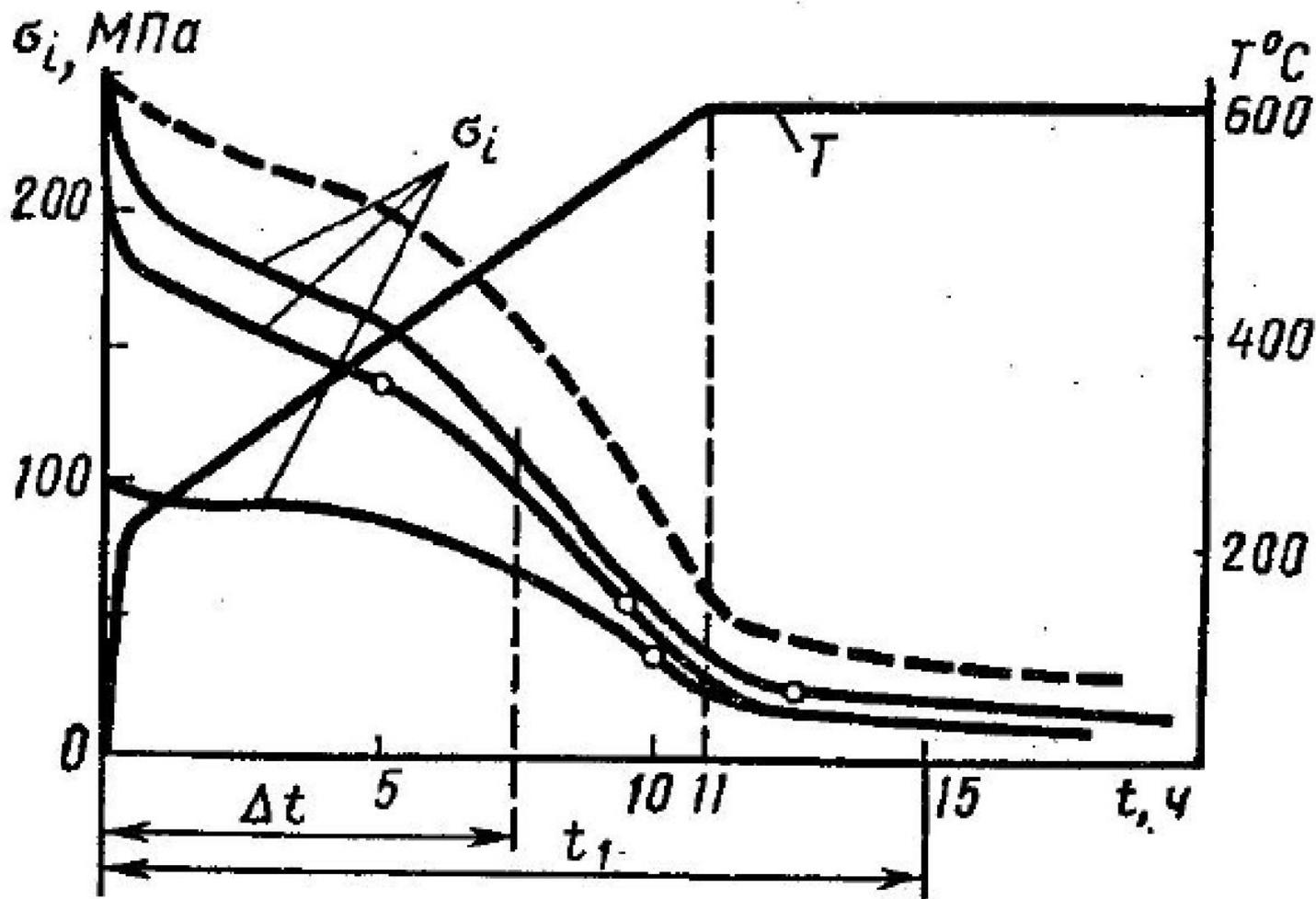


# ВИДЫ И РЕЖИМЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

## Этапы



Снижение интенсивности напряжений  $\sigma_i$  (сплошные кривые) и трехосных напряжений в сварном соединении большой толщины (пунктирная линия)



## **Термический отдых.**

Сварное соединение нагревают до 250-300 °С с последующей выдержкой в течение нескольких часов.

Назначение термического отдыха - уменьшение содержания водорода в сварных швах, а также некоторое снижение уровня остаточных сварочных напряжений.

Отдых обычно назначают для сварных соединений толстостенных конструкций, для которых трудно выполнить термическую обработку по режиму высокого отпуска.

## **Высокий отпуск.**

При термической обработке сварное соединение нагревают до температуры на 20-30 °С ниже критической точки  $A_{c1}$ , выдерживают в течение 1-5 ч и затем медленно охлаждают. При этом уровень остаточных сварочных напряжений снижается на 70-90%, происходят структурные изменения в сварном шве и зоне термического влияния.

Для низколегированных сталей эти изменения заключаются в распаде закалочных структур, укрупнении карбидов и т. п., что в конечном итоге приводит к заметному снижению твердости, а также к повышению пластических свойств и ударной вязкости металла. Высокому отпуску

## **Нормализация.**

Сварное соединение нагревают до температуры выше критической точки  $A_{c3}$  на 20-30 °С, выдерживают в течение непродолжительного времени при данной температуре и охлаждают на спокойном воздухе.

Цель нормализации - получение однородной мелкозернистой структуры металла и улучшение механических свойств зон сварного соединения, а также снижение уровня остаточных сварочных напряжений.

Нормализации чаще всего подвергаются сварные стыки тонкостенных труб малого диаметра из низколегированной стали перлитного класса, выполненные газовой сваркой.

## **Аустенизация.**

Сварное соединение нагревают до 1080-1130 °С, выдерживают в течение 1-2 ч и охлаждают на воздухе.

В результате этой термической обработки удастся получить однородную аустенитную структуру, улучшить механические свойства стали и снизить уровень остаточных сварочных напряжений.

Аустенизации подвергают сварные соединения трубопроводов из высоколегированных сталей аустенитного класса марок 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т и др. Проведение аустенизации способствует снижению остаточных сварочных напряжений на 70-90% и повышению пластичности металла сварного соединения. При этом выравнивается структура металла шва и околошовной зоны.

### **Стабилизирующий отжиг.**

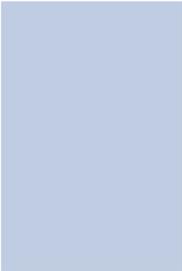
Сварное соединение нагревают до 950-970 °С, выдерживают в течение 2-3 ч и охлаждают на воздухе.

Приводит к снижению остаточных сварочных напряжений на 70-80% и обеспечивает стабильную структуру, хорошо противодействующую возникновению межкристаллитной коррозии.

Стабилизирующий отжиг применяется для сварных соединений трубопроводов из высоколегированных сталей аустенитного класса марок 08X18H10T и 12X18H10T.

## Меры по снижению деформаций и перемещений:

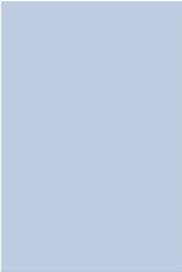
### □ На этапе проектирования:



Назначают минимальные объемы направляемого металла



Используют способы сварки с минимальным тепловложением



Балочные конструкции проектируют с таким поперечным сечением и расположением швов, чтобы моменты от усадочных сил были уравновешены



Последовательность сборочно-сварочных операций, при которых моменты инерции и площади поперечных сечений во время выполнения швов были максимальны



В некоторых случаях целесообразно обеспечить свободное сокращение элементов от усадки, чтобы не вызвать искажения конструкции в целом.



В конструкциях с тонкостенными элементами швы располагают либо в жестких элементах, либо вблизи них



Обеспечение последующей правки при опасениях искажений размеров и формы конструкции

## □ При разработке технологии и выполнении сварки:

Применение рациональной последовательности сборочно-сварочных операций

Назначение экономичных способов и режимов сварки с минимальным тепловложением

Применение соответствующей оснастки

Назначение размеров заготовок с учетом последующей усадки

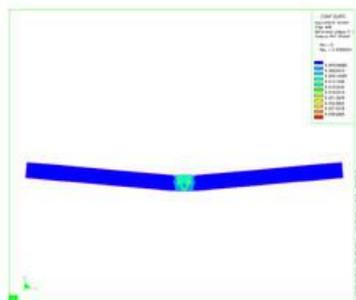
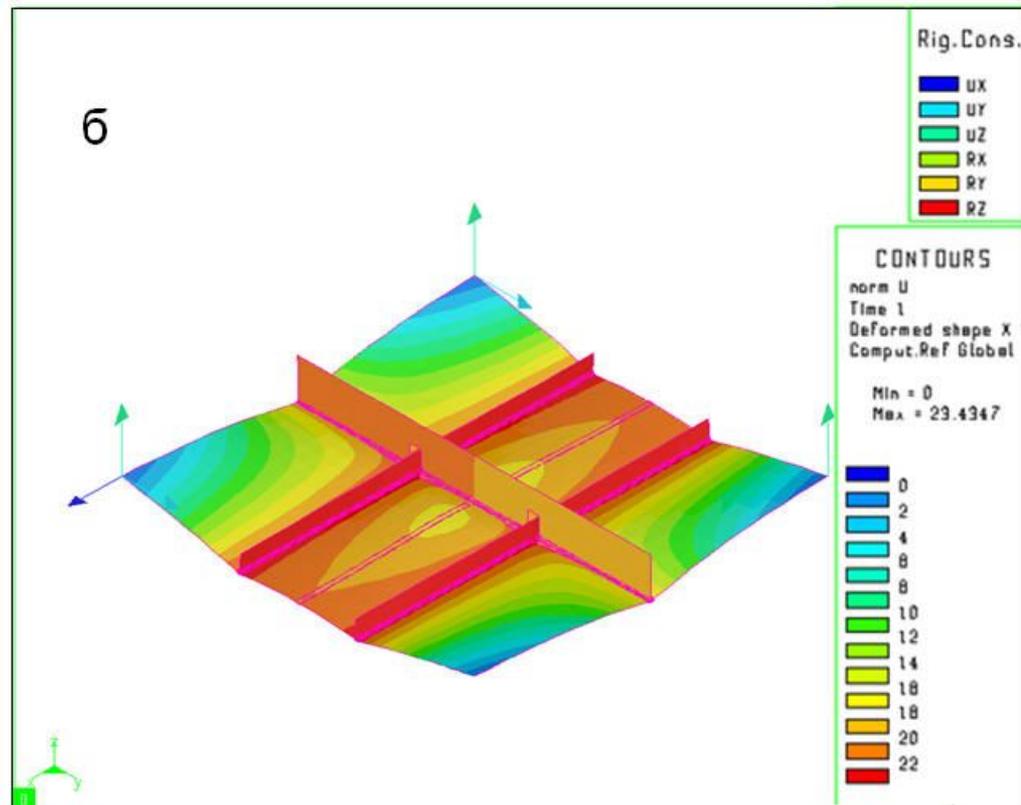
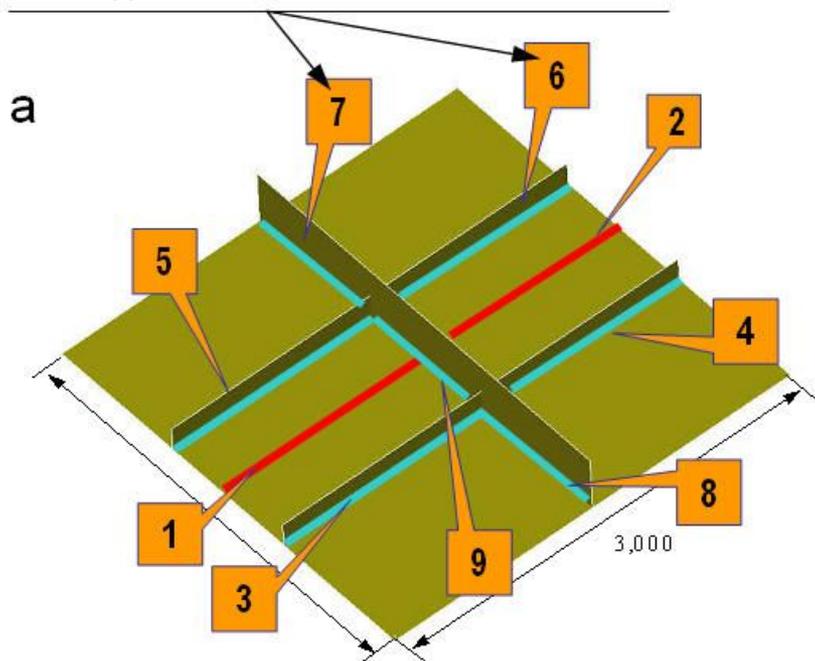
Предварительная пластическая деформация заготовок перед сваркой

Искусственное охлаждение

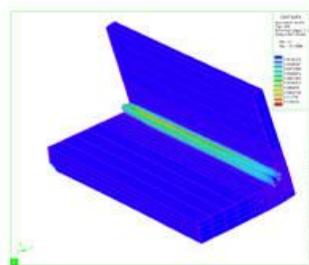
Создание напряжения растяжения с помощью приспособлений и спец. установок

Создание непосредственно после сварки пластические деформации удлинения проковкой металла

## Последовательность наложения швов



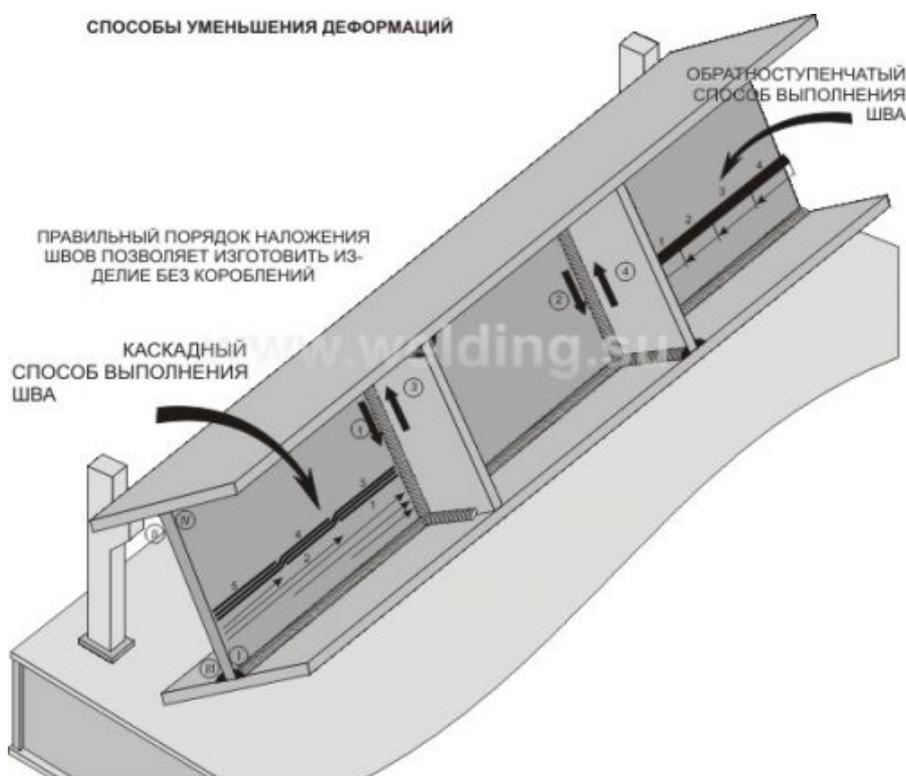
Локальная модель №1  
(для швов встык 1,2)



Локальная модель №2  
(для швов 3-9)

**Максимальное отклонение:**  
Расчет - 23.4 mm  
Эксперимент - 23.8 mm

СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНОГО НАГРЕВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ УСАДКИ МЕТАЛЛА

а)

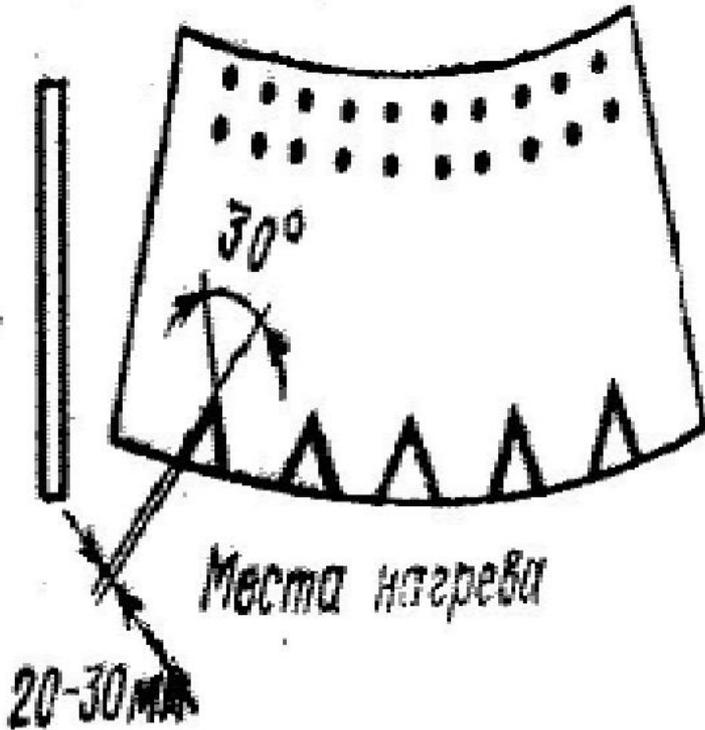


б)

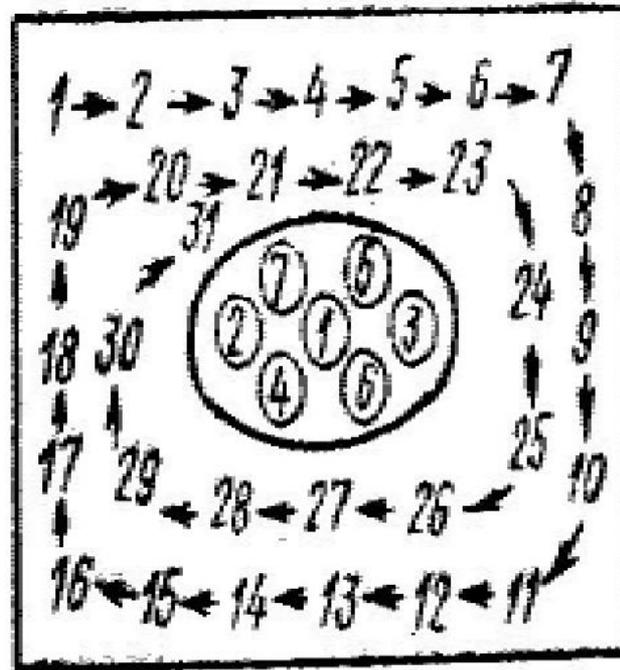


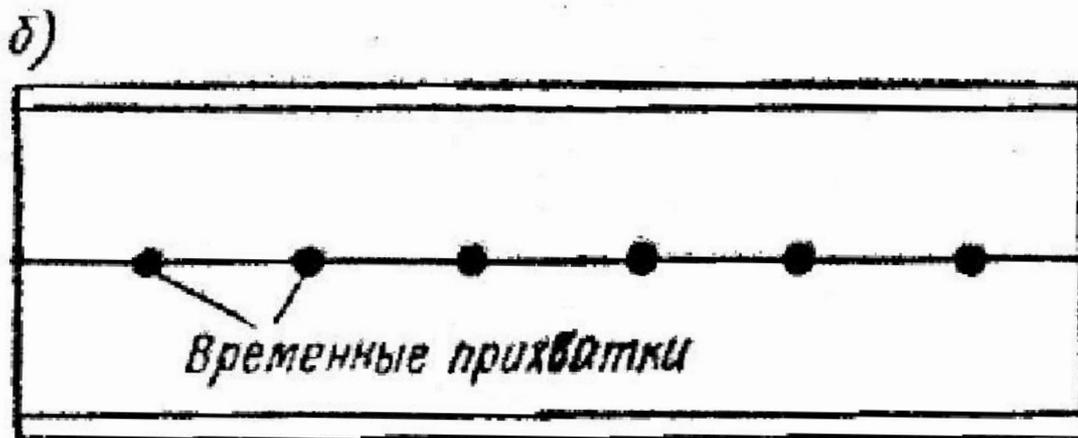
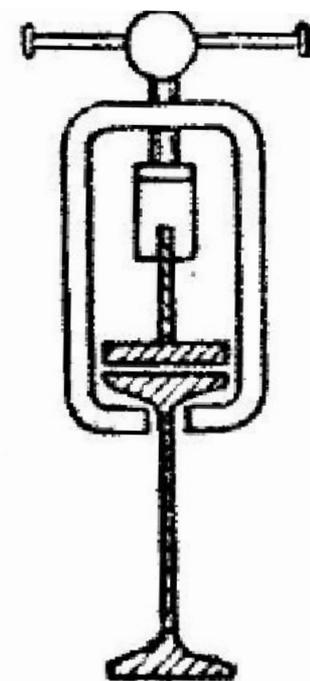
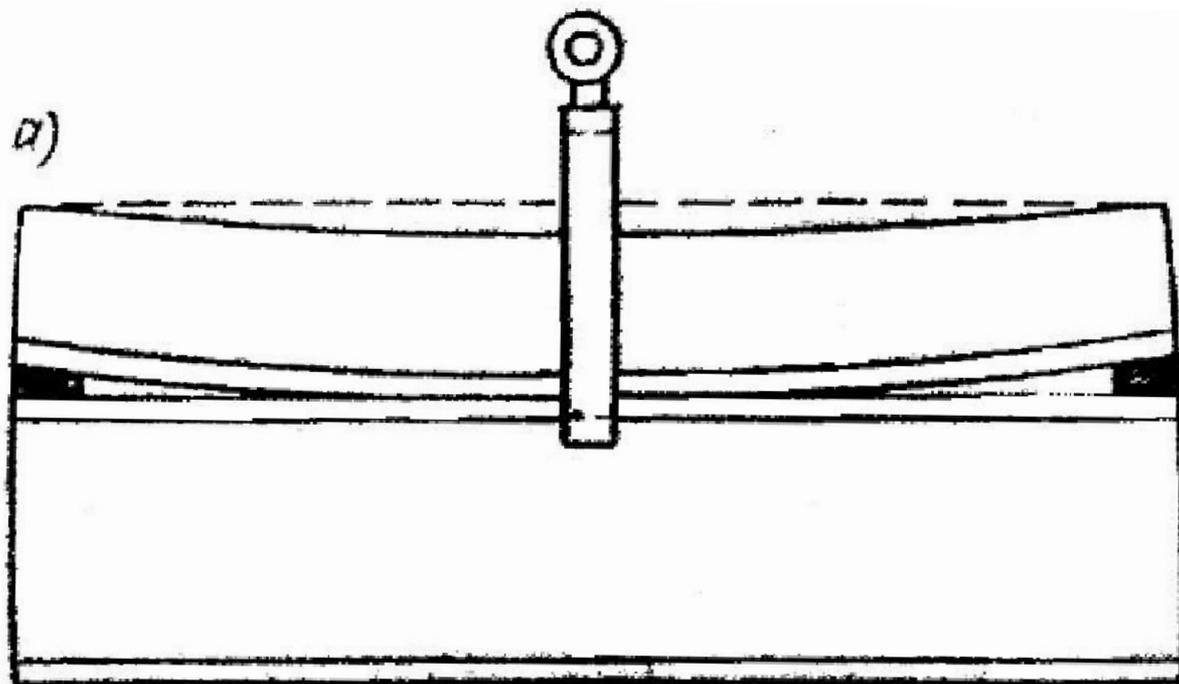
# МЕХАНИЧЕСКАЯ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ПРАВКА ДЕТАЛЕЙ

а) Места проколачивания



б)





а – предварительный упругий выгиб, б – жесткое закрепление при помощи захваток