

Особенности экспериментального измерения остаточных напряжений в сварных конструкциях

Российский государственный университет
нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина

к.т.н. Антонов А.А.

Опасность наличия остаточных напряжений в конструкции

Холодные трещины



Коррозия под напряжением

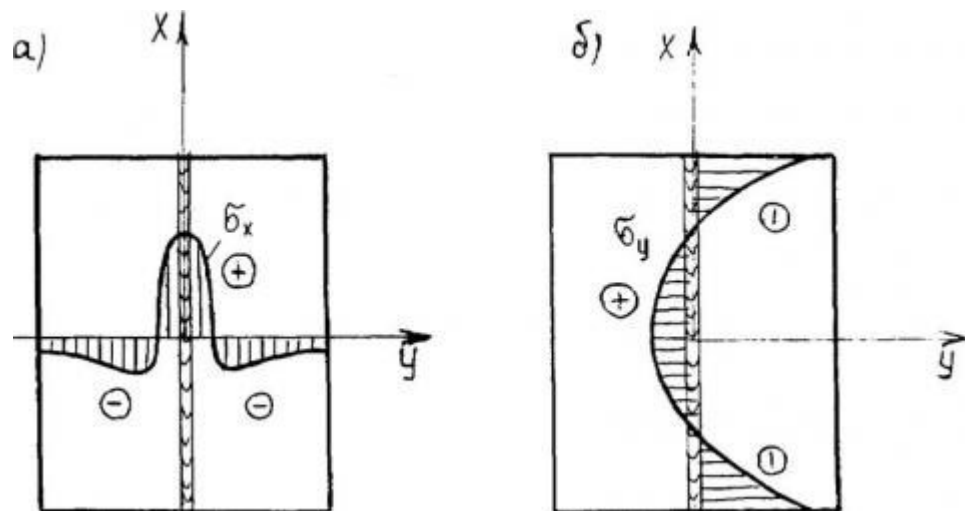


Особенность остаточных напряжений

- Остаточные напряжения действуют при **ОТСУТСТВИИ** внешних воздействий на конструкцию;
- Остаточные напряжения **уравновешены** по любому сечению конструкции

Остаточные напряжения в сварной конструкции

- Пиковые значения напряжений наблюдаются в зоне сварного шва



Особенности **сварных конструкций** с точки зрения измерения напряженного состояния

- Структурно-фазовые отличия в металле шва и ЗТВ от основного металла
- Высокий градиент напряжений требует применения оборудования с малой базой измерения (не более нескольких мм)

Выписка из СТО-136

- 3.1.27 **отпуск: Вид термообработки, заключающийся в нагреве сварных соединений** ниже температур превращения, выдержке при заданной температуре и последующем охлаждении с определенной скоростью с целью **снижения уровня сварочных напряжений**, улучшения структуры и свойств сварных соединений.
- 3.1.28 **отпуск высокотемпературный (высокий): Вид отпуска, заключающийся в нагреве** сварных соединений до температуры от 500 °С до 680 °С, выдержке от 1 до 5 ч при заданной температуре и охлаждении под слоем теплоизоляционных материалов.
- 10.10.11 Вид термообработки сварных соединений, выполненных дуговыми способами сварки при строительстве газопроводов из низкоуглеродистых, низколегированных сталей перлитного класса, – высокий отпуск. Режимы термообработки приведены в таблице 10.34.

Таблица 10.34 – Режимы термообработки сварных соединений газопроводов

Стали	Класс прочности	Режимы термообработки			Условия охлаждения
		температура нагрева T_n , °С	скорость нагрева V_n , °С/ч	выдержка t_b , мин	
Низкоуглеродистые, низколегированные, перлитного класса	До К54 включ.	580–600	Не более 400	1,5 мин на 1,0 мм толщины стенки трубы,	Под слоем теплоизоляции до температуры окружающего воздуха
	Св. К54 до К60 включ.	600–620		но не менее 60 мин	

Выписка из СТО-137

А.1.8.8 Необходимость термической обработки после сварки. В одну группу однотипных сварных соединений допускается объединять соединения, выполняемые:

без термической обработки после сварки;

требующие термической обработки после сварки (отпуск в температурном интервале от +580 °С до +620 °С).

Существующие методы измерения остаточных напряжений

Механические методы

- Наибольшая достоверность (закон Гука)
- Относительно простая методика проведения измерения
- Возможна небольшая база измерения
- Требуется полное или частичное разрушение измеряемой конструкции
- Получение информации по каждому измерению требует определенного времени

Физические методы

- В процессе измерения конструкция не повреждается
- Относительно малое время на одно измерение
- Требуется тарировка на исследуемом металле, как следствие – невозможность проведения достоверных измерений в зоне сварного шва
- Низкая достоверность полученных результатов

Лучевые методы

- Минимальная база измерения
- Основаны на законе Гука - достоверность
- Сложность в разделении микро/макро напряжений
- Измерение только на глубине до 25мкм (рентгеновский метод)
- Для метода нейтронной дифракции:
 - время получения информации по одной точке измерения – несколько десятков часов
- стационарный источник нейтронов

Выбор оптимальной технологии

- Ни один из существующих методов, по отдельности, не может полностью решить проблему измерения остаточных напряжений в сварных конструкциях
- Нужна **комплексная методика**, объединяющая преимущества каждого метода и нивелирующая его недостатки

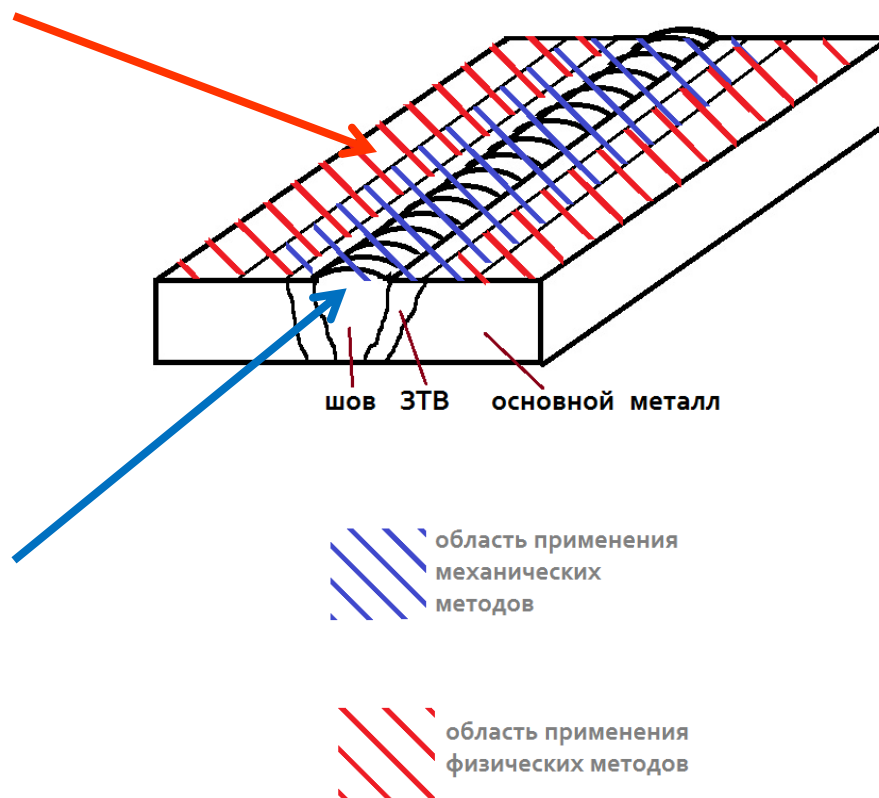
Комплексная методика

Физический
метод

Основной
металл, ЗТВ и
шов – только
для создания
общей картины
распределения
напряжений

Механический
метод

Зона сварного
шва, ЗТВ и
граничная
область
неизменного
основного
металла



Рекомендуемые методы для комплексной методики

Механический метод

Метод лазерной интерферометрии

- ГОСТ Р-52891-2007
- Создание глухого отверстия малого диаметра
- Измерение перемещений кромок отверстия с помощью спекл-интерферометрии

Физический метод

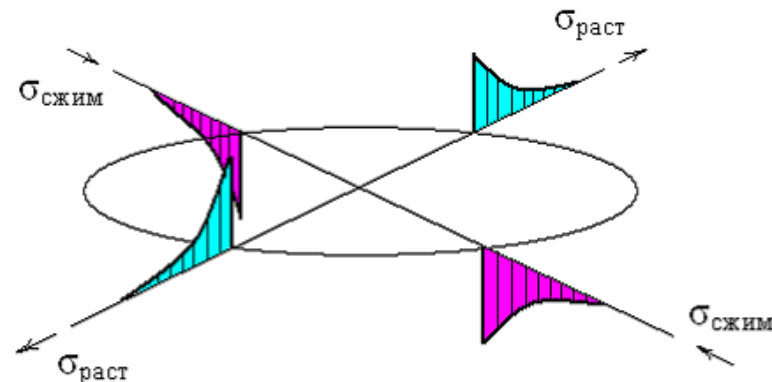
Магнитошумовой метод (шумы Баркгаузена)

- Измерение уровня магнитного шума при плавном перемагничивании

Метод лазерной интерферометрии



Оптическая схема спекл-интерферометра «ДОН-5ЦЗ»



Нормальные перемещения кромки засверленного отверстия



Интерферограмма



Работа с спекл-интерферометром «ДОН-5ЦЗ»

Магнитошумовой метод (метод шумов Баркгаузена)

Сущность метода:

Анализатор напряжений и структуры металлов магнитошумовой ИНТРОСКАН предназначен для перемагничивания объектов из ферромагнитных материалов и приёма магнитного шума (шума Баркгаузена), возникающего в процессе их перемагничивания, обработки и вывода информации о спектральной плотности принимаемого магнитного шума.

ИНТРОСКАН



Технология проведения Комплексной методики

1. Построение полей остаточных напряжений на основном металле неразрушающим физическим методом. Работы можно проводить без тарировки на исследуемый материал, т.е. получаем Качественную картину, без определения значений напряжений в МПа.
2. Отдельно физическим методом обнаруживаем зоны с высоким уровнем напряжений в шве и ЗТВ.
3. Определение точек на шве, ЗТВ и ближайшем основном металле для проведения измерений механическим методом (с учетом данных о зонах с высоким уровнем напряжений, полученных при выполнении п.2). Для каждой точки получаем данные о направлении и величине напряжений в МПа.
4. Для ряда точек, при работе механическим методом, определяем знак главных напряжений.
5. В области ближайшего основного металла, где измерения проводились двумя методами, «совмещаем» полученные результаты. Тем самым проводим тарировку физического метода. Уточняем знаки главных напряжений, строим эпюру напряжений по всей исследуемой поверхности.

Преимущество Комплексной методики

- **Достоверность.** Механический метод обеспечивает полную достоверность данных о напряжениях в шве, ЗТВ и близлежащем основном металле.
- **Оперативность.** Большой объем первичной работы по обнаружению зон с пиковыми значениями напряжений выполняется физическим методом, имеющим высокую производительность.
- **Небольшой объем вносимых при измерении повреждений.** Засверливание отверстий производится только там, где имеется наибольший уровень напряжений.

Апробация Комплексной методики

- Решение вопроса о **необходимости ТО** после выполнения **кольцевых швов** г/п Бованенково-Ухта (сталь X-80, толщина стенки 33,4мм)
- Развитие **технологии ремонта дефектов** на внешней стенке трубы путем **вышлифовки и последующей наплавки** нового металла
- Исследование полей ОН после выполнения **продольных швов** при производстве труб



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!