

# Практическая работа.

## Измерение полей остаточных напряжений с помощью спекл-интерферометра «ДОН-4».

### Цель практической работы.

Изучение методики измерения остаточных напряжений.

### Теоретическая часть.

Остаточные напряжения возникают в деталях и конструкциях при их производстве. В сварных соединениях, к которым относятся и трубопроводы, остаточные напряжения возникают из-за неравномерного распределения температуры в изделии при сварке, структурных изменений в процессе сварки и из-за механических ограничений по деформации изделия в целом.

Внешне остаточные напряжения никак не проявляются, но могут оказать серьезное влияние на работоспособность конструкции. В процессе эксплуатации сварной конструкции на имеющееся поле собственных остаточных напряжений накладывается поле рабочих напряжений, возникающих от рабочих и тепловых нагрузок, которые испытывает наша конструкция.

В результате происходит взаимное сложение полей и возникает новое поле напряжений. В зонах, где суммарные напряжения от двух полей превышают предел текучести, происходит пластическая деформация. В таких зонах возможно возникновение трещин, ускорение коррозионных процессов, разрушение.

Если поля напряжений от известных рабочих нагрузок и других факторов, возникающих в процессе эксплуатации изделия, можно заранее подсчитать, то поле остаточных напряжений заранее теоретически подсчитать практически невозможно.

Поэтому важно иметь метод определения значений поля остаточных напряжений.

Все существующие методы оценки напряженно-деформированного состояния можно разделить на две группы.

К первой группе относятся механические разрушающие методы. Они связаны с высвобождением объема металла и изучением соответствующих деформаций, возникших в результате этого. Основное преимущество разнообразных механических методов в достоверности получаемых результатов. Все механические методы имеют под собой хорошо проработанную математическую модель. К недостаткам таких методов нужно отнести, в первую очередь, необходимость полного или частичного разрушения исследуемого образца.

Вторая группа методов – физические. В них используется связь между наличием остаточных напряжений и изменением каких-либо физических свойств материала. К физическим методам можно отнести: рентгеновский метод (где фиксируется изменение межплоскостных расстояний в зависимости от наличия напряжений), ультразвуковые (акустические) методы (изменение скорости распространения упругих волн) и электромагнитные (изменение магнитных параметров, например магнитной проницаемости  $\mu$ ). Основное достоинство таких методов – отсутствие необходимости разрушения исследуемого образца или всей конструкции. Среди недостатков таких методов можно выделить во-первых, необходимость наличия контрольного образца из того же материала, но с отсутствующими остаточными напряжениями и, во-вторых, неоднозначность полученных результатов, особенно при исследовании сварных соединений.

В этой лабораторной работе мы познакомимся с одним из самых передовых и наиболее достоверных методов определения ОН – методом высверливания отверстия.

Метод высверливания отверстия для определения остаточных напряжений предложен Матаром в 1932г. Он предусматривает «удаление» части объема металла из исследуемой детали и регистрацию возникших в результате этого перемещений кромок отверстия. Однако перемещения кромок очень малы. Поэтому практическая (не лабораторная) реализация этого метода стала возможна только в конце 70-х, начале 80-х годов прошлого века. Американцы пошли путем наклейки в окрестностях отверстия розетки из трех тензодатчиков. С помощью математических формул показания деформации поверхности переводились в величины напряжений. Проблемы такого способа регистрации деформации кромок в том, что:

- Тензодатчики имеют свою базу, на которой результат измерения усредняется (как бы мала она не была);
- Розетка тензодатчиков должна быть очень точно установлена по отношению к будущему высверливаемому отверстию;
- Требуется тщательная подготовка поверхности (в т.ч. под наклейку тензодатчиков);
- Измеряются не перемещения кромок, а деформация поверхности в окрестностях отверстия;
- Отсутствует визуализация полученной информации, в т.ч. направление главных осей.

В нашей стране был применен метод голографической интерферометрии для измерения перемещений кромок отверстия. Голография позволяет измерять перемещения, если их величина превышает половины длины волны соответствующего лазерного излучения, т.е. применима в нашем случае. Математическая модель процесса была проверена с помощью экспериментов и показала хорошую сходимость с реальными результатами. В результате получен метод, не требующий подготовки поверхности, достаточно оперативный.



На основе метода высверливания отверстия и метода голографической интерферометрии и создан прибор «ДОН-4».

Измерительный комплекс ДОН состоит из оптического блока в который входит спекл-интерферометр, система фиксации его на измеряемой поверхности и системы автономного питания лазера и видеокамеры; персонального компьютера; системы дозированного изъятия объема материала для проявления напряжений.

Оптическая плоскость интерферометра может быть установлена нормально к поверхности измерения, либо под углом 45 градусов, подобное решение позволяет существенно расширить технологические возможности измерительного комплекса (изменять чувствительность метода, выполнять измерения в угловых сварных соединениях, устранить влияние сверлильного инструмента на формирование интерференционных картин и т. п.).

Первый этап измерений - фиксация не возмущенного состояния поверхности.

Второй этап измерений - проявление остаточных напряжений выполнение зондирующего отверстия.

Третий этап аналогичен первому - фиксируется возмущенная поверхность после высверливания глухого отверстия.

Далее выполняется обработка в компьютере и на экране появляется интерференционная картина поля перемещений по которой определяются величины главных напряжений и ориентация их осей на исследуемой поверхности. Жесткое крепление оптического блока на поверхности обеспечивается за счет внедрения трех инденторов в поверхность конструкции. В течении измерения оптический блок не меняет своего положения. Время измерения и обработки результатов не превышает 5 минут.

Оптическая часть схемы представляет собой спекл-интерферометр с опорным пучком. Для обеспечения разрешения спеклов видеокамерой апертура объектива диафрагмируется. Для уменьшения пространственной частоты спеклов сферическая опорная волна исходит из мнимого точечного источника, находящегося в центре диафрагмы объектива. Для обеспечения максимальной чувствительности к перемещению (минимальной цены полосы) направление освещающего поверхность пучка совпадает с нормалью к поверхности.

В отличие от фотографического детектора (фотопластинки) видеосистема позволяет записывать два разделенных во времени световых поля на отдельные носители. Носителем информации в данном случае является файл на жестком диске компьютера, содержащий графическую информацию. В связи с этим процедура получения исходной для определения остаточных напряжений информации (системы интерференционных полос, являющихся линиями равных нормальных перемещений) состоит из четырех этапов: предварительной обработки исходных изображений; совмещения изображений; вычитания изображений и обработки разностного изображения.

На первом этапе при необходимости используют процедуры повышения резкости, изменения яркости, контрастности, насыщенности полутонов, сокращения частотного спектра

На втором этапе используют процедуру послойного наложения кадров друг на друга. Кадры должны иметь одинаковые геометрические размеры (в пикселах) и одинаковое описание цветовой гаммы (grayscale — описание в оттенках серого цвета). Образуется новый кадр, в котором два слоя наложены друг на друга по принципу "пиксел в пиксел".

На третьем этапе используют процедуру получения разностной картины двух наложенных слоев. Происходит вычитание кодов цветов в совпадающих пикселах. Формируется цифровой аналог интерферограммы. На участках, где контраст спеклов не изменился между двумя записями, разностный сигнал равен нулю, в изображении появляется темная полоса. Области, где контраст спеклов был обратным, проявятся в виде ярких полос. В силу того, что цветовой код несет в себе информацию о перемещении точек поверхности, эти полосы интерпретируются как интерференционные полосы равных смещений в направлении нормали к поверхности.

Наконец, на четвертом этапе для улучшения качества разностной картины и удобства ее последующей обработки при необходимости используют процедуры повышения резкости, изменения яркости, контрастности, насыщенности полутонов, сокращения частотного спектра. Данная технология может быть реализована с помощью современного программного обеспечения обработки растровых графических изображений (пакеты программ Photoshop, Photostyler и др.), а также в виде самостоятельного целевого прикладного программного обеспечения.

## **Общий порядок выполнения работы**

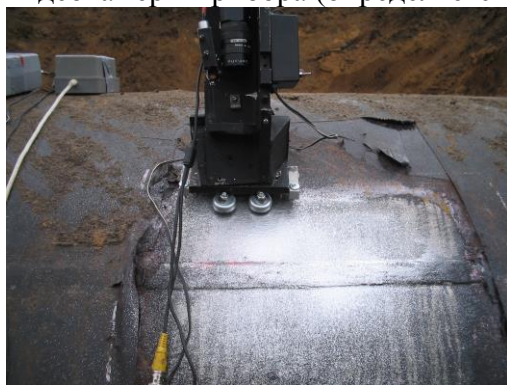
1. Изучить теоретическую часть.

2. Изучить инструкцию по правилам ТБ при работе с электрическими установками.
3. Расписаться в Журнале проведения инструкций по ТБ.
4. Изучить инструкцию по работе с установкой «ДОН-4»
5. Подключить установку «ДОН-4» к разьему S-VIDEO компьютера или ноутбука.
6. Включить блок питания видеокамеры установки «ДОН-4» в розетку.
7. Включить блок питания лазера в розетку. Нажать на клавишу включения на блоке питания лазера.
8. Включить компьютер (ноутбук).
9. Настроить компьютер (ноутбук) на прием сигналов через разъем S-VIDEO.



Le665.exe

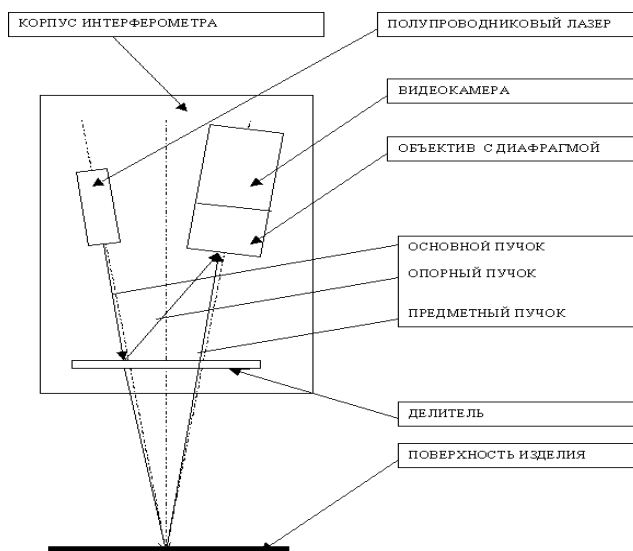
10. Открыть программу «LE665»
11. Нажать на кнопку «ВИДЕОЗАХВАТ»
12. Определить путь для сохранения полученной информации.
13. Установить интерферометр на исследуемой трубе таким образом, чтобы зона, в которой мы предполагаем провести измерения оказалась в поле зрения видеокамеры прибора (определяется по картинке на экране монитора).



14. Проверить жесткость крепления прибора на трубе, отрегулировать положение магнитов, притягивающих интерферометр к трубе.



15. Проверить поверхность в зоне предполагаемого исследования. На поверхности не должно быть толстого рыхлого слоя ржавчины, грязи. В случае наличия толстой ржавчины, грязи – удалить их с поверхности.
16. Проверить правильность соотношения предметного и опорного пучков (в соответствии с инструкцией по работе с прибором «ДОН-4» путем временного перекрытия предметного пучка).

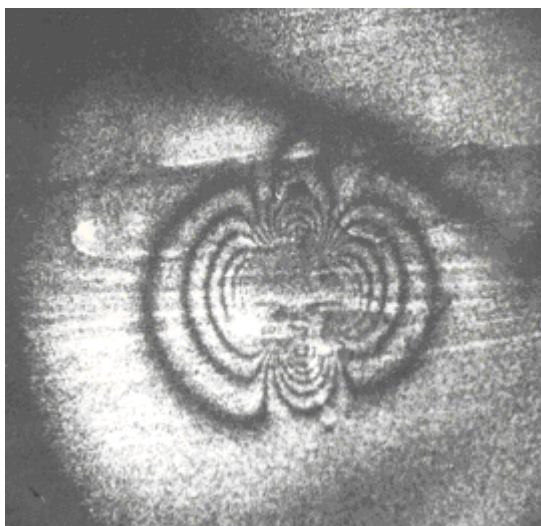


17. Нажать на кнопку «ФОТО» и выбрать автоматический режим. Установить количество (рекомендуется -5) кадров в каждой фотосессии и интервал между кадрами внутри фотосессии (рекомендуется минимальный – 0,2 с).
18. Нажать на кнопку «ФОТО» и снять первую группу кадров.
19. Аккуратно, не касаясь элементов интерферометра, провести высверливание несквозного отверстия сверлильным инструментом со специальной



насадкой.

20. По завершении высверливания извлечь инструмент. Не касаться элементов интерферометра!
21. Визуально проверить состояние поверхности в окрестностях высверленного отверстия. При наличии стружек – удалить их кисточкой.
22. Нажать на кнопку «ФОТО» и снять вторую группу кадров.
23. Закрывать открытое окно и нажать на кнопку «ОБРАБОТКА».
24. Путем последовательного перебора между кадрами первой сессии и второй сессии выбрать лучшую интерферограмму. При необходимости обработать интерферограмму для получения более контрастного изображения инструментами, имеющимися в программе.
25. Подсчитать количество черных интерференционных полос в каждом из двух основных направлениях (вдоль и поперек оси шва).



26. С помощью кнопки «РАСЧЕТ» ввести результаты эксперимента и получить значения  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  для указанного количества интерференционных полос.
27. Полученные результаты записать в итоговый протокол.
28. Отключить интерферометр путем выключения тумблера на блоке питания лазера, отключения от сети блоков питания лазера и видеокамеры. Выключить компьютер.

#### **Общие контрольные вопросы**

1. Причины возникновения остаточных напряжений в сварных конструкциях.
2. Основные группы способов измерения напряжений.
3. Зачем нужно делать вторую экспозицию при замере ОН в приборе «ДОН-4»?