

Часто задаваемые вопросы

Об измерении напряжений

1. Вопрос

Какие напряжения измеряет прибор ИН-5101А?

1. Ответ

ИН-5101А измеряет двухосные напряжения растяжения-сжатия, усредненные по объему прозвучивания (толщина материала \times площадь датчика).

2. Вопрос

Какие напряжения не измеряет прибор ИН-5101А?

2. Ответ

ИН-5101А не измеряет сдвиговые напряжения и напряжения чистого изгиба. **Но:** напряжения изгиба полых конструкций можно определить по знаку и величине через напряжения растяжения-сжатия «крайних волокон», то есть противоположных точек изгибаемой конструкции.

3. Вопрос

С какой точностью измеряет напряжения прибор ИН-5101А?

3. Ответ

Расчет погрешности каждого проведенного измерения напряжений осуществляется согласно данным, имеющимся в вычислительном модуле прибора.

Проведены неоднократные проверки результатов измерения прибором ИН-5101А двухосных напряжений при нагружении заглушенных стальных труб внутренним давлением. Результаты проверок: разница измеренных значений и вычисленных по величине давления, толщине стенки и диаметру трубы (т.н. «котельные формулы») – несколько процентов от предела текучести материала.

О других УЗ методах и приборах

1. Вопрос

Что общего у ИН-5101А и УЗ дефектоскопа?

1. Ответ

Использует ультразвуковой эхо-метод, частоты примерно те же. Дефект, конечно, увидит, и положение его определит. «Увидит» колонии мелких трещин, расслоений, пор как «зашумление» между эхо-импульсами. Однако так его использовать – все равно, что «гвозди забивать микроскопом». ИН-5101А - техника нового поколения, для более тонких задач.

2. Вопрос

Чем отличается прибор ИН-5101А от обычного дефектоскопа?

2. Ответ

В основном использует сдвиговые волны. Использует импульсы с плавной огибающей, при измерениях «рассматривает внутренность импульса». **Но:** мощность сигнала гораздо меньше (не всякую толщину чугуна «пробьет»). Это «плата» за возможность прецизионного измерения временных интервалов, характеризующих распространение УЗ импульсов в реальных средах.

3. Вопрос

Чем ИН-5101А похож на УЗ толщиномер и чем отличается от него?

3. Ответ

Измерит толщину с такой точностью, какая и не нужна практически (хотя могут быть и такие задачи). Можно использовать сдвиговые волны для уменьшения минимальной измеряемой толщины материала (аналогично ЭМА-толщиномерам).

4. Вопрос

Чем ИН-5101А отличается от приборов, основанных на явлении акустической эмиссии?

4. Ответ

Методы неразрушающего контроля делятся на активные и пассивные (последнее наименование вовсе не означает, что такие методы чем-то «хуже» первых, просто такая вот классификация). Метод акустической эмиссии – пассивный, он «улавливает» сигнал, который подает сам материал, когда ему под нагрузками становится «как-то нехорошо, как бы хуже не было».

УЗ эхо-метод – активный. Прибор ИН-5101А сам посылает слабый сигнал, который ничего в материале не портит, но позволяет судить о его состоянии по параметрам зондирующего сигнала, в основном – о величинах действующих в нем напряжений, еще не приводящих ни к микро-, ни к макроповреждениям.

5. Вопрос

Чем ИН-5101А отличается от прибора УД-4Т и его модификаций?

5. Ответ

Прибор УД-4Т и его аналоги основаны на измерении скорости (задержки) упругих волн, распространяющихся **вдоль** действия одноосного напряжения (измерение напряжений в стержнях, болтах, шпильках). Принцип действия, аппаратная часть и результаты практического применения таких приборов описаны в статьях и книгах В.М. Бобренко с соавторами и в справочнике «Неразрушающий контроль», том 4, часть 1 «Акустическая тензометрия».

ИН-5101А основан на измерении скорости (задержки) упругих волн, распространяющихся **поперек** плоскости действия одно- или двухосных напряжений. Основная литература по этому вопросу представлена статьями и книгами А.Н. Гузя, Ф.Г. Махорта и О.И. Гущи (рекомендуем «Введение в акустоупругость»). Современное состояние вопроса освещено в книге Н.Е. Никитиной «Акустоупругость. Опыт практического применения».

О приборах на базе других физических явлений

1. Вопрос

Какие преимущества для определения напряжений (деформаций) имеет ИН-5101А по сравнению с традиционной тензометрией?

1. Ответ

В режиме акустической тензометрии датчики могут быть удалены с поверхности материала во время возникновения напряжений (при сварке, термообработке и т. п.). Направления главных напряжений в изотропном материале легко определяются вращением преобразователя сдвиговых волн. Точность измерения напряжений в акустически прозрачных материалах сравнима, а иногда и превосходит точность тензометрирования.

Для слабоанизотропных материалов возможно определение напряжений «in situ», в режиме «безнулевой» акустической тензометрии, когда значения измеряемых параметров для ненапряженного материала неизвестны. Такой режим недоступен не только для традиционной тензометрии, но и для многих других методов НК.

2. Вопрос

Чем ИН-5101А отличается от приборов, определяющих деформации (напряжения) рентгеновским методом?

2. Ответ

Рентгеновским методом измеряются поверхностные микродеформации (микронапряжения), которые не всегда интересны для крупноструктурных материалов, крупногабаритных металлоконструкций. У него более жесткие требования к чистоте поверхности материала. Данные можно сравнивать с полученными акустическим методом в случае однородного по толщине напряженного состояния.

3. Вопрос

Чем ИН-5101А отличается от приборов, основанных на определении анизотропии магнитных свойств материалов для определения напряжений?

3. Ответ

ИН-5101А определяет **двухосные напряжения** на основе алгоритмов, построенных в рамках нелинейной теории упругости, магнитоанизотропным методом можно определять только **одноосные напряжения** на базе полученных на образцах тарировочных кривых. Аналитических зависимостей измеряемых магнитных параметров от **разности главных напряжений** не существует, а ее определение магнитными методами основано на интуитивных и феноменологических соображениях. Разумеется, возможность применения прибора ИН-5101А никак не связана с наличием у материала конструкции ферромагнитных свойств.

4. Вопрос

Чем ИН-5101А отличается от приборов для «оценки НДС» конструкционных материалов, основанных на определении изменения магнитных свойств при сканировании поверхности ферромагнитного материала? Например, от приборов, использующих эффект магнитной памяти металла?

4. Ответ

Магнитные методы НК вообще, сравнительно простые и недорогие, вполне подходят для экспресс-сканирования поверхностей элементов конструкций с целью дефектоскопии их приповерхностного слоя. Фактически такой метод сигнализирует: в этом месте что-то не так. Для уточнения этого «что-то» нужны специальные методы.

В рамках магнитных методов для этого используют тарировочные зависимости от одноосного напряжения шумов Баркгаузена (Интроскан, Stresscan), коэрцитивной силы, магнитной проницаемости и других характеристик магнитного поля материала. Зависимости измеряемых параметров от напряжений – эмпирические, не совсем линейные.

Например, метод магнитной памяти металла вообще не почувствует статические напряжения. Он улавливает изменения напряженного состояния во времени и пространстве.

ИН-5101А определяет **по знаку и величине одно- или двухосные напряжения**, действующие в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волн. Погрешность определения напряжений в режиме акустической тензометрии не превышает 20-30 МПа.

Другие

1. Вопрос

Может ли прибор ИН-5101А измерить абсолютное значение напряжения?

1. Ответ

Абсолютных значений напряжений не определяет никто, не верьте никому, кто так утверждает. Все измерения ведут отсчет от того или иного «начального» состояния, которое определяется конкретной практической задачей. **Например**: если инженеру надо определить изгиб трубы при монтаже трубопровода, то начальное состояние для него – прямая труба, а не лист проката, из которого она изготовлена, хотя и там уже есть напряжения по сравнению с исходным слитком.

2. Вопрос

Почему в приборе ИН-5101А не используются поверхностные упругие волны, ведь разрушение чаще всего начинается с поверхности материала, и там часто сосредоточены наибольшие напряжения?

2. Ответ

Действительно, в приборе ИН-5101А используются объемные сдвиговые и продольные упругие волны. Реализуется УЗ эхо-метод. Импульсы многократно отражаются от поверхностей изделия, что позволяет получить большую базу для измерения задержек. При использовании поверхностных волн площадь зоны контроля обратно пропорциональна погрешности измерений (или большее усреднение по площади, или большая погрешность измерений при малых значениях задержек). Разумеется, поверхностные волны более чувствительны к состоянию поверхности, обладают «поперечной структурой». Короче говоря, для выявления таких малых эффектов, как акустоупругость, надо выбирать как можно более простые измерительные «инструменты» (сигналы, алгоритмы и т.д.), чтобы меньше было «побочных» эффектов.

Впрочем, вопрос открыт – будет польза - будем использовать и другие типы волн, не только объемные.

3. Вопрос

Почему в приборе ИН-5101А не используется спектральный анализ эхо-импульсов, а именно, фазовый спектр для определения фазовой скорости и соответствующей задержки упругой волны в материале?

3. Ответ

Использование фазового спектра акустического импульса для определения фазовой скорости, соответствующей определенной частоте, было предложено Зайце и Пао в 1978 г. (Journ. of Applied Physics). Такой метод не годится для отслеживания малых изменений скорости, связанных с изменением напряженного состояния твердых тел, поскольку аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразование реальных эхо-импульсов вносит большую погрешность в результаты измерений.

4. Вопрос

Почему в комплекте с прибором ИН-5101А не используются бесконтактные ЭМА-преобразователи для возбуждения и приема упругих волн, ведь в этом случае область применения ультразвукового метода измерения напряжений значительно расширится?

4. Ответ

ЭМА-преобразователи в силу своих конструктивных особенностей посылают в материал очень узкий импульс. Соответственно, у него широкая спектральная полоса, он сильно искажается и затухает в материале. Это создает определенные трудности при прецизионном измерении скорости распространения упругих волн в конструкционных материалах. Достигнутые на сегодняшний день успехи в определении напряжений с использованием ЭМА-преобразователей связаны с использованием не импульсного, а резонансного режима измерения скорости ультразвука (Hirao M., Ogi H. EMATS for science and industry: noncontacting ultrasonic measurements. P. 215-260), что, в свою очередь, имеет свои ограничения при выборе практических задач.

Н.Е.Никитина, доктор технических наук