

АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТОЛСТОСТЕННЫХ ТРУБ

к.т.н. Быченко В.А.¹, к.т.н. Беркутов И.В.¹, Алифанова Ирина Евгеньевна.²

1 – ООО «НТЦ «Эталон», 2 – НИУ ИТМО,

г. Санкт-Петербург, Россия

sheerbairina@mail.ru, тел.: +7 904 556 4072

Введение

В настоящее время при производстве новых образцов техники постоянно повышаются требования к эксплуатационным характеристикам изделий. При этом, первостепенной задачей остается обеспечение эксплуатационной надежности, точности изготовления и требований ресурса конструкций. В частности, к производству толстостенных труб предъявляются высокие требования сохранения геометрических характеристик: прямолинейности и разностенности. Толстостенные трубы представляют собой тела трубчатой формы переменного сечения с внешним диаметром 0,2 – 0,3 м при длине более 5 м, изготовленные из специальной стали.

Во многом сохранение геометрических характеристик изделия при производстве определяется уровнем механических напряжений, которые практически невозможно учесть в проектировочных расчетах. Прямые измерения механических напряжений и определение качества изготовления могут быть эффективно использованы как для проверки правильности таких расчетов и технологии изготовления изделий, так и для оперативной диагностики их технического состояния при эксплуатации и корректировке процесса производства при изготовлении.

Методы контроля механических напряжений

Анализ существующих средств контроля механических напряжений продемонстрировал неприменимость большинства методов в решении задачи контроля механических напряжений в толстостенных трубах ввиду следующих факторов:

- отсутствие аппарата вычисления остаточных напряжений (в данный момент реализуются вычисления в условных единицах, например, в магнитных величинах и др.);
- невозможности выполнять измерения на реальных объектах (например, выполнить измерения внутренних остаточных напряжений с помощью нейтронного ускорителя можно лишь на образцах с определенными требованиями к размеру);
- измерение напряжений 3-го рода, что не характеризует напряженно-деформированное состояние (НДС) в объеме, позволяющем оценить вероятность деформации объекта контроля при механической обработке.

Для контроля механических напряжений в толстостенных трубах было предложено использовать следующие методы:

- ультразвуковой метод с генерацией двух взаимно-поляризованных поперечных и одной продольной ультразвуковых волн [1, 2], позволяющий контролировать двухосное напряженное состояние интегрально по толщине прозвучиваемого изделия;
- лазерно-ультразвуковой метод с генерацией головной подповерхностной волны [3, 4], позволяющий контролировать одноосное напряженное состояние в подповерхностном слое на базе 30 мм.

Для контроля механических напряжений в толстостенных трубах ультразвуковым методом использовался двухканальный ультразвуковой дефектоскоп в комплекте с трехкомпонентным пьезоэлектрическим преобразователем (ПЭП), объединяющем в своем корпусе три пьезоэлемента и позволяющем генерировать и принимать две взаимно-поляризованные поперечные и продольную ультразвуковые волны, распространяющиеся по толщине прозвучиваемого объекта. Комплект средств ультразвукового контроля обладает компактностью, гибкостью программного обеспечения и позволяет оценивать амплитудные, временные и частотные характеристики принимаемых сигналов.

Для контроля механических напряжений в толстостенных трубах лазерно-ультразвуковым методом использовался лазерно-ультразвуковой дефектоскоп, разработанный в Международном лазерном центре МГУ им. М. В. Ломоносова в комплекте раздельно-совмещенным оптико-акустическим преобразователем (ОАП) с базой измерений 30 мм.

Преимущества лазерно-ультразвукового метода контроля заключаются в следующем:

- лазерное возбуждение позволяет генерировать мощные и короткие аperiodические УЗ-сигналы, использование которых позволяет проводить измерения с высоким временным разрешением;

-благодаря широкополосности и малой длительности (70 – 80 нс) термооптически возбуждаемых акустических импульсов, достигается наибольшая точность измерения скорости ультразвука (относительная погрешность не более 1%, повторяемость 1-2 м/с).

Основные результаты

Наибольшее внимание для минимизации погрешностей следует уделять оценки значения коэффициента упругоакустической связи материала. С этой целью была проведена градуировка средств контроля с использованием образцов-имитаторов. С целью обеспечения максимально возможного соответствия физико-механических и акустических свойств образцов-имитаторов материалу толстостенных труб, образцы-имитаторы для градуировки средств контроля были изготовлены из заготовки специальной трубы, прошедшей точно такие же операции механической и термической обработки, что и объекты контроля.

Апробация методов контроля механических напряжений выполнялась на экспериментальных образцах кольцеобразной формы (внешний диаметр – 270 мм, толщина – 80 мм), изготовленных из толстостенных труб. Экспериментальные исследования по апробации методов контроля механических напряжений проводились с использованием универсальной разрывной машины EU-40. С помощью предложенных средств контроля проводились измерения механических напряжений в экспериментальных образцах под действием сжимающей нагрузки 135, 275 и 325 кН. Для проверки результатов контроля было выполнено конечно-элементное моделирование нагружения экспериментальных образцов, результаты которого показали качественную и количественную сходимость с результатами эксперимента.

Экспериментальные исследования по контролю механических напряжений в толстостенных трубах с помощью предложенных методов контроля проводились на разных этапах технологического процесса четырех толстостенных труб, изготовленных по разным технологиям производства. Была проведена верификация результатов экспериментальных исследований с помощью расчетных методов.

Обсуждение результатов

Таким образом, были проведены экспериментальные исследования по контролю механических напряжений в толстостенных трубах с помощью ультразвукового и лазерно-ультразвукового методов, включая: верификацию методов в процессе испытаний на сжатие экспериментальных кольцеобразных образцов; контроль механических напряжений в толстостенной трубе на разных этапах механической обработки; контроль механических напряжений в четырех толстостенных трубах, изготовленных по различным технологиям.

Результаты исследований подтвердили возможность оценки уровня механических напряжений в толстостенной трубе, равномерность распределения напряжений и физико-механических свойств по сечению, длине и по поверхности толстостенной трубы, а также сравнивать качество толстостенных труб и технологических процессов их изготовления.

Акустические методы контроля механических напряжений, внедренные в процесс производства толстостенных труб, позволят определить недопустимый уровень механических напряжений еще в заготовках толстостенных труб, планировать технологический процесс с учетом известных механических напряжений, и, в конечном итоге, повысить качество толстостенных труб в части обеспечения выполнения требований к их прямолинейности и разностенности.

Литература

1. Н.Е. Никитина. Акустоупругость. Опыт практического применения. / Н.Новгород: ТАЛАН, 2005.-208с.
2. ГОСТ Р 52731-2007. Контроль неразрушающий. Акустический метод контроля механических напряжений. Общие требования: нац. Стандарт РФ – Введ. 01.10.2007
3. Быченко, В.А. Контроль остаточных напряжений в околошовной зоне сварного шва. / [В.А. Быченко, И.В. Беркутов, А.Л. Майоров, А.В. Ильин, В.В. Киреев, В.Е. Прохорович, М.А. Чекмарева] // В мире НК – 2007 - № 13 – С.50-53.
4. Karabutov. A.A. Determination of uniaxial stresses in steel structures by the laser-ultrasonic method / [A.A. Karabutov, N.B. Podymova, E.B Cherepetskaya] // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics – M A I K Nauka – Interperiodica (Russian Federation), 2017. – Vol.58, No.3 – pp. 503-810. – UDC 534.212; 534.08.
5. Свидетельство об аттестации методики (метода) измерений №30/23.11.2018-01.00276-2014 «Методика измерений механических напряжений в металлических конструкциях лазерно-ультразвуковым методом».