

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СТРУКТУРОМЕТРИЯ И ТЕНЗОМЕТРИЯ. ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ, АВИАЦИОННОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ

Модератор: Щербинский В.Г., НПО «ЦНИИТМАШ»

Под влиянием эксплуатационных факторов происходит деградация металла, т.е. процесс необратимых структурных изменений, приводящий к ухудшению требуемых эксплуатационных качеств, что напрямую определяет безопасность объекта.

В большинстве случаев, основную информацию о состоянии металла на микроуровне получают по результатам испытаний образцов. При этом получают информацию о неких выборочных характеристиках отдельных элементов, по которым принимаются решения о состоянии объекта (элемента) в целом.

Неразрушающий контроль (НК) является одним из основных элементов технологического процесса в машиностроении и в последней инстанции определяет качество и надежность объектов ответственного назначения.

Постоянно совершенствующаяся приборная база и развитие новых технологий, отработанная система технологической отраслевой и общедокументационной (ГОСТы) обуславливают жесткую и, что самое главное, единую систему регламентации оценки качества оборудования ответственного назначения. В сочетании с непрерывным процессом повышения профессионализма кадров, это положительно влияет на его эксплуатационную надежность.

Но, в существующем виде, НК концептуально не ориентирован на обнаружение в эксплуатирующемся оборудовании деградации металла изменения его структурно-фазового состояния на микро уровне и оценке напряженно-деформированного состояния (НДС) элемента конструкции.

Стратегия продления безаварийного эксплуатационного ресурса технологического оборудования и трубопроводов требует постоянного мониторинга темпов деградационного старения (повреждения) каждого элемента металлоконструкций ответственного назначения.

В настоящее время во многих отраслях промышленности разработаны и применяются в штатном режиме технологии структурометрии металла и оценке уровня НДС не по образцам, а непосредственно в самой конструкции с помощью физических методов НК.

Уже давно установлено, что для каждой конкретной марки металла существуют тесные корреляционные связи между механическими свойствами металла и информативными признаками - скоростью и затуханием ультразвука.

Это позволяет с помощью НК определять в металле такие важные характеристики, как пределы прочности и текучести, уровень НДС, величину зерна, анизотропию текстуры и т.д. без разрушения металла.

С использованием базы данных и алгоритмов пересчета, без вырезки образцов, возможно получение оценок характеристик длительной прочности, критической температуры хрупкости и др.

В Российской Федерации имеется правовая основа допускающая применение методов НК взамен образцовых (разрушающих). В частности, это ГОСТ Р 53204-2002, 52840-2007, 52731-2007, 53668-2009, 53001-2008 и др.

Акустическая тензометрия основана на изменении скорости ультразвуковых волн различных мод в зависимости от знака и величины напряженности на участке прохождения волны. Это явление называется акустоупругостью.

В ультразвуковой структурометрии и тензометрии измеряют и используют скорости распространения продольных, сдвиговых волн различной поляризации, поверхностных, головных; затухание волн на различных частотах; спектры прошедшего сигнала; соотношение фазовой и групповой скоростей и временной сдвиг импульса; мощность и спектр реверберационного шума в заданном временном интервале, в том числе, частотно-угловая зависимость шума от состояния металла и т.п.

Необходимо отметить, что структурометрия и тензометрия металла путём измерения скорости обуславливает необходимость применения электронно-акустической аппаратуры с прецизионным измерением временных интервалов. Например, чтобы определить остаточные напряжения на уровне 2% необходимо измерять градиенты скорости от 10 м/с.

Данное научное направление явилось темой круглого стола «Ультразвуковая структурометрия и тензометрия» хорошо организованного РОНКТД в рамках проведения выставки.

В работе круглого стола приняли участие около 35 человек.

С докладами выступили ведущие ученые активно работающие по этому направлению.

Проф., д.т.н. В.В.Муравьев (Технический университет им. М.И.Калашникова г. Ижевск), выступил с докладом по акустической структурометрии. Он подчеркнул, что численные значения констант скоростей упругих волн в чистых металлах для различных структур полученные экспериментально достаточно хорошо согласуются с теоретическими.

В реальных же металлоконструкциях, когда на дислокационные эффекты накладываются различные структурные факторы и напряжения, вызванные внешним воздействием, - это отсутствует. Для каждой конструкции и марки металла необходимы экспериментальные данные. Тем не менее акустическая структурометрия по скорости волн находит все большее распространение.

Для прецизионных измерений скорости ультразвуковых волн авторами разработан цифровой автоциркуляционный прибор ИСП-12, и оригинальной конструкции, раздельно-совмещенный наклонный преобразователь на частоту 2,5 МГц для возбуждения поверхностных волн (точнее волн Рэлея), у которых ввод ультразвука в металл и вывод производится через ребро клиновой призмы (акустической задержки). Эта аппаратура обеспечивает погрешность измерения временных интервалов не более 0,01%.

По измерению скорости поверхностных волн разработаны методы контроля и интегральной твердости стальных изделий, в частности, качества рельсов; термической обработки; оценки трещиностойкости сталей предназначенных для изготовления штампов и многих других объектов.

Кроме того, метод может быть применен в качестве технологического инструмента для: оценки времени и температуры старения алюминиевых сплавов; скорости охлаждения при закалке сплавов; температуры нагрева под закалку алюминиевых сплавов и сталей; температуры отпуска сталей и т.п.

А.Н.Смирновым, Н.О.Абабковым, В.В.Муравьевым, С.В.Фальмером

на основе измерения скорости поверхностных волн предложены критерии «К» оценки ресурса сварных соединений паропроводов из сталей 20, 09Г2С, 12Х1МФ и комплексный критерий предельного состояния длительно работающего металла Kf.

Критерии базируются только на измерении скорости поверхностных волн (временных интервалов)

Критерии применены при экспертизе длительно работающих и разрушенных гибов паропроводов и труб поверхностей нагрева из сталей 20, 12Х1МФ, 15Х1МФ, 12Х2МФСР котлоагрегатов нескольких сибирских ТЭС.

В докладе проф., д.т.н. В.К.Качанова (МЭИ г. Москва) изложены результаты структуроскопии сложноструктурных материалов путем анализа статистических характеристик структурного шума.

В основе метода лежит суммирование всех сигналов в соседних точках при построчном сканировании разнесенным преобразователем с базой между осями ПЭП более диаметра пьезопластины, пространственно - временной обработкой этих сигналов и выделении полезного сигнала.

Авторы предложили для анализа вычислять мгновенный акустический спектр шума, и установили связь энергетического спектра с характером структурных неоднородностей материала. Показана уверенная возможность распознавания структуры различных сложноструктурных материалов при отсутствии донного и других опорных сигналов, а также

при невозможности измерения скорости ультразвуковых колебаний. В частности, шумов в чугунах с пластинчатой и вермикулярной формами графита

Доклад к.т.н. Л.В.Воронковой (ЦНИИТМАШ г. Москва) был посвящен исследованиям по оценке изменения, скорости продольных волн на частоте 1,0 МГц в электропечном ЧПП в процессе эксплуатации чугунных изложниц под воздействием высоких температур и термоциклических нагрузок. Исследования позволили установить граничное значение скорости продольных волн определяющее предельное число наливов без аварийного разрушения.

Метод акустической тензометрии конструкционных материалов основан на явлении акустоупругости т.е. линейном изменении скорости V проходящих через материал упругих (ультразвуковых) волн от уровня механических напряжений в нем

Д.т.н., проф. В.Т.Бобров и А.В.Гульшин сделали большой обзорный доклад по акустической тензометрии в авиационно-космической отрасли.

Приведено много примеров штатного и эффективного использования этого метода в процессе производства и монтажа ответственных узлов и механизмов в ракето и самолетостроении.

Проф., д.т.н. А.В.Попов в (Военно учебный-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е.Жуковского и Ю.А.Гагарина» г. Воронеж) рассказал о возможности измерения скорости поверхностной ультразвуковой волны при лазерном возбуждении в лопатках авиационных ГТД, с целью оценки остаточных напряжений.

Прием осуществлялся узкоапертурным пьезоэлектрическим приемником. Установлена тесная корреляция фазовой скорости поверхностных волн от величины напряжения в образцах .

Получены аналитические выражения связывающие остаточные напряжения с относительными изменениями скорости поверхностных волн. Метод позволяет представить на мониторе цветную картину сложонапряженного состояния поверхностного слоя исследуемой лопатки.

К сожалению, ряд докладов не сделали. Тем не менее докладчик и выступающие одновременно отметили важность продолжения работ по акустической структурометрии и тензометрии как безусловно перспективного метода неразрушающей оценки металла экспортирующегося оборудования.

Отчет предоставил: Щербинский Виктор Григорьевич, проф., д-р техн. наук, заслуженный деятель науки, НПО «ЦНИИТМАШ», Москва