

УДК 620.179.16

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

Родюшкин Владимир Митрофанович¹, доктор технических наук, заведующий лабораторией волновой динамики, экспериментальной механики и виброзащиты машин
e-mail: vlkn2005@yandex.ru

Каразанов Кирилл Олегович^{2,3}, аспирант, инженер
e-mail: karazanov.kirill@mail.ru

¹ Институт проблем машиностроения РАН «Филиал ФГБНУ «ФИЦ ИПФ им. А.В. Гапонова-Грехова РАН», Нижний Новгород, Россия

² Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

³ Научно-Технический Тренажёрный Центр «Механик», Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Общепринятые способы диагностики конструкционных материалов в судостроении и судоремонте направлены на соответствие установленным нормам и позволяют лишь подтвердить конечную стадию деградации материала. В работе рассматриваются основные сложности при диагностике технического состояния элементов конструкции судна. Показано, что для адекватной оценки напряженно-деформированного состояния элементов судна возможно применение нестандартных методик неразрушающего контроля ультразвуковыми волнами, основанных на нелинейных параметрах.

Ключевые слова: пластическая деформация, ультразвуковой контроль, скорость упругой волны, нелинейность, генерация второй гармоники, структура.

MODERN CHALLENGES OF ULTRASONIC INSPECTION OF METAL STRUCTURES

Rodyushkin Vladimir Mitrofanovich¹, Doctor of Technical Science, Head of Wave dynamics and experimental mechanics Laboratory

e-mail: vlkn2005@yandex.ru

Karazanov Kirill Olegovich^{2,3}, Doctoral Student, Engineer

e-mail: karazanov.kirill@mail.ru

¹ Institute of Problems of Machine Science RAS, Nizhny Novgorod, Russia

² Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

³ Scientific and Technical Training Center «Mechanic», Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Generally accepted methods of diagnosing structural materials in shipbuilding and ship repair are aimed at compliance with established standards and only allow us to confirm the final stage of degradation of the material. The paper considers the main difficulties in diagnosing the technical condition of the ship's structural elements. It is shown that for an adequate assessment

of the stress-strain state of the ship's elements, it is possible to use non-standard methods of non-destructive testing by ultrasonic waves based on nonlinear parameters.

Keywords: plastic deformation, ultrasonic control, elastic wave speed, non-linearity, second harmonic generation, structure

Для оценки эксплуатационных свойств металла несущих конструкций применяются методы диагностики, выявляющие физически существующие повреждения. На момент проведения технического обследования размер этих повреждений определен нормативно-технической документацией, а подчас количественно не известен. Обнаружение таких повреждений является констатацией факта начала разрушения металла. Фактическое техническое состояние до появления повреждения не оценивается. Выход из этой ситуации видится в создании контроля зарождающихся повреждений.

Для осуществления такого контроля следует перейти от поиска и измерения дефектов – результата уже произошедшего разрушения металла – к поиску и индикации зон, предрасположенных к разрушению. В таких областях металл еще не разрушен, но близок к этому.

Причины, побудившие нас высказать идею проведения «индикаторного обследования» или поиску зон преддефектного состояния пути, следующие:

1. При техническом обследовании элементов судна условия: рабочие нагрузки, вибрации, температура, статические и динамические напряжений не соответствуют определению технического состояния (ГОСТ 20911-89): «техническое состояние характеризуется в определенный момент времени, при определенных условиях внешней среды, значениями параметров, установленных технической документацией». Таким образом, проводя контроль на неработающем оборудовании, мы получаем неадекватные технические характеристики.

2. Причиной внезапных повреждений оборудования нередко являются накапливающиеся в процессе эксплуатации повреждения. В то же время, применяемые методы неразрушающего контроля не фиксируют процесс развития микрповреждений вплоть до макрповреждений (например, трещины).

3. Объект, прошедший техническое освидетельствование, признается работоспособным. Однако, при воздействии каких-либо нештатных нагрузок в потенциально опасных зонах появляются несовместимые с режимом эксплуатации повреждения. В этой ситуации следует наряду со штатными видами диагностики (определяющих объем и порядок проведения ТО) переходить к поиску зародышей повреждений.

Таким образом, для повышения безопасности эксплуатации судов предлагается от поиска повреждения, несовместимого с эксплуатацией (дефекта), перейти к поиску и «индикации» зон преддефектного состояния, что согласуется с уже высказанной идеологией [1].

Проблемы ультразвукового контроля элементов конструкций судна во многом определяются тремя факторами:

Контролепригодность. Невозможность обнаружения несплошностей, усталостных трещин в зонах, к поверхностям которых нет доступа, поэтому требуются разработки специализированных методик, согласованных с правилами Регистра.

Рассеянная поврежденность. Для распределенных объемных дефектов характерен процесс рассеяния волны микроскопическими неоднородностями, вследствие чего стандартные процедуры УЗК неэффективны. Процесс рассеяния звука на скоплениях



мелких дефектов не дает эхо-сигнала, либо он настолько мал, что коэффициент выявляемости может иметь величину до 0,01.

Для примера на рис. 1 представлена микроструктура дефектной зоны, где размер мелких одиночных неоднородностей порядка десятых долей миллиметра.

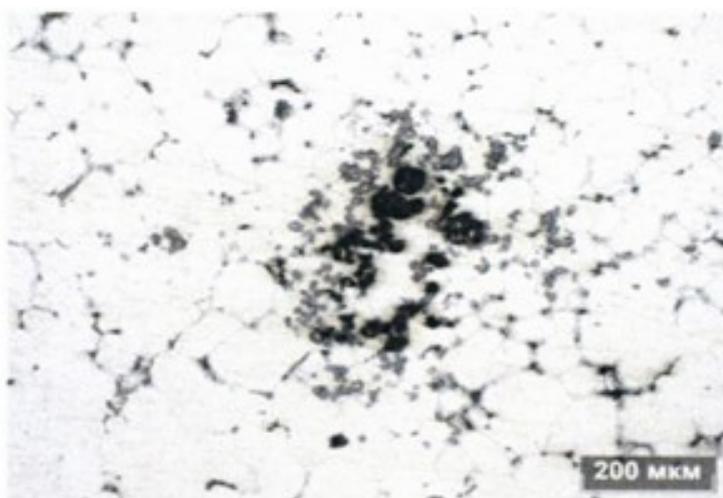


Рисунок 1 – Результат металлографического исследования

Структурные изменения. Изменение структурного состояния материала в зонах интенсивной деградация металла провоцируется многими факторами: агрессивностью среды (коррозия); напряжениями в материале (статические, динамические, циклические). Для контроля за изменениями структуры, в силу отсутствия физически существующего разрушения, следует применять методики, построенные на нелинейных [2], диссипативных [3, 4] эффектах. Эти волновые эффекты проявляются задолго до разрушения. Например, по результатам прецизионного измерения скоростей упругих волн можно оценивать напряженное состояние металла. Использование нелинейного параметра для контроля структуры металла показало (рис. 2) что металлу в области, не подверженному пластическому деформированию (точка 1), по сравнению с зоной разрушения (точка 5) соответствует меньшая нелинейность, характеризуемая отношением уровня второй гармоники относительно основной в ультразвуковом сигнале зондирующей волны.

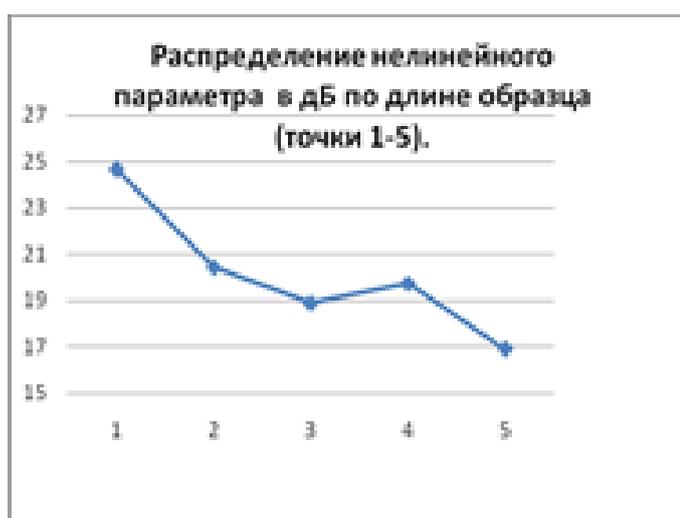


Рисунок 2 – Результаты прецизионного измерения скоростей упругих волн в металле

Использование велосиметрии и нелинейности в ультразвуковом контроле позволяет адекватно оценивать напряженно-деформированное состояние элементов судна, демонстрируя возможности использования нестандартных методов ультразвукового контроля для разделения упругих и пластических деформаций.

Таким образом, мониторинг ультразвуковыми упругими волнами элементов конструкции судна может стать эффективной процедурой в технологии поиска и обнаружения потенциально опасных зон деструкции металла, что позволит перейти от «аварийного» ремонта к профилактике разрушения; от поиска дефектов – результата уже произошедшего разрушения металла – к поиску преддефектного состояния металла.

Список литературы:

1. Волков, В.М. Надежность машин и тонкостенных конструкций: учеб. пособие // В.М. Волков; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева – Нижний Новгород. – 2011. – 365 с.
2. Назаров, В.Е. Нелинейные волновые процессы в упругих микронеоднородных средах / В.Е. Назаров, А.В. Радостин; Российская акад. наук, Ин-т прикладной физики. – Нижний Новгород: Ин-т прикладной физики РАН, 2007. – 254 с.: ил.; 21 см.;
3. Хазов П.А. Влияние поврежденности материала на эволюцию акустической волны // Приволжский научный журнал. – 2015. – №2. – С. 32 – 41.
4. Исследования покрытий, наносимых газопламенным напылением, методом ультразвуковой диагностики / Березин Е.К., Корнев А.Б., Родюшкин В.М. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2023. – том. 89. – №1. – С. 28 – 34

