РАЗДЕЛ X. МАШИНОСТРОЕНИЕ

Хлыбов А.А., Кабалдин Ю.Г., Аносов М.С., Шатагин Д.А., Рябов Д.А.

Оценка поврежденности металла с использованием неразрушающего контроля и подходов искусственного интеллекта

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
(Россия, Нижний Новгород)*

doi: 10.18411/lj-08-2021-27

Аннотация

В статье представлены исследования направленные на разработку нового метода неразрушающего контроля с использованием нейронных сетей и данных неразрушающего контроля. Была проведена процедура классификации и кластеризации импульсов сигналов ультразвука (УЗ) и акустической эмиссии (АЭ). Классификация и кластеризация сигналов производилась на статистических данных, полученных в ходе экспериментальных исследований стали разных марок. По разработанным нейронным сетям проводилась оценка поврежденности материала изделия на основе данных АЭ и УЗ контроля в процессе испытаний.

Ключевые слова: поврежденность, неразрушающий контроль, механические испытания, акустическая эмиссия, ультразвуковой контроль.

Abstract

The article presents research aimed at developing a new method of non-destructive testing using neural networks and non-destructive testing data. The procedure of classification and clustering of pulses of ultrasound (US) and acoustic emission (AE) signals was carried out. The classification and clustering of signals was carried out on statistical data obtained in the course of experimental studies of steel of different grades. The developed neural networks were used to assess the damage to the product material based on AE and US control data during testing.

Keywords: damage, non-destructive testing, mechanical testing, acoustic emission, ultrasonic testing.

Для повышения надежности функционирования различных деталей и узлов механизмов и конструкций, в особенности при пониженных температурах, необходима постоянная оценка состояния их материала. К числу наиболее эффективных инструментов оценки состояния материала и его поврежденности, относятся неразрушающие методы контроля. К числу наиболее перспективных методов контроля структурного состояния материала на стадиях эксплуатации до появления трещин относятся методы УЗ и АЭ [1,2]. Одним из решений, направленных на повышение объективности оценки состояния материала, может послужить применение современных средств машинного обучения, позволяющие проводить ее оценку на основе обработки большого количества разнородной информации.

Экспериментальные образцы испытывались на растяжение и упругопластическое циклическое деформирование при различных температурах. Для регистрации сигналов АЭ использовался широкополосный датчик GT350, установленный на образце. Для регистрации ультразвуковых волн использовался акустический комплекс «Астрон» с набором датчиков УЗ [3]. Номинальная частота датчиков 5 МГц. В качестве контактной жидкости применяли глицерин, уровень вязкости которого при пониженных температурах сохраняет свою работоспособность. Сигналы с датчиков поступают на АЦП (фирмы National Instruments модели 4431 и

6356 и др.), после чего на ПК (HP ProBook 450 G6) с разработанным ПО, где происходит их обработка. Запись параметров сигналов осуществлялась с параллельной регистрацией деформаций и напряжений в образце.

В работе представлена методика оценки поврежденности материала при испытаниях на растяжение. На рис. 1 представлен экспериментальный стенд для проведения испытаний на растяжение с регистрацией сигналов АЭ и УЗ. Образцы изготавливались с учетом требований ГОСТ, особенностей зажимов и необходимости установки датчика АЭ.

Рис. 1 Стенд для испытаний на растяжение с регистрацией АЭ и УЗ

Для проведения оценки поврежденности металла конструкции в контролируемой зоне устанавливается набор датчиков АЭ (1 датчик) и УЗ (4 датчика). В основу работы системы положен способ регистрации серии отраженных импульсов упругих волн, возбуждаемых в объекте контроля пьезоэлектрическим преобразователем, а также регистрации сигнала АЭ и последующей их обработки средствами программной части системы.

На рис. 2 показана общая структура обработки сигналов с датчиков АЭ и УЗ.

Рис. 2- Процесс оценки степени поврежденности с использованием ансамбля моделей классификации, вариационного автоэнкодера и рекуррентной ИНС

Ультразвуковой сигнал (1) и сигнал АЭ в виде спектрограммы зашумленного сигнала (2) поступает на обработку. Вначале происходит процедура фильтрации сигнала АЭ с использованием вариационного автоэнкодера.

Обучение энкодера осуществлялось в три этапа:

1. Обучение на сигналах с шумовой составляющей (2). Сверточный слой искусственной нейронной сети (ИНС) (3) извлекает основные признаки из отрезка сигнала АЭ, представленного в виде спектрограммы (2), и снижает размерность данных. К концу сверточного слоя формируется вектор размерности меньшей, чем входной. Затем деконволюционный слой ИНС (4) учится восстанавливать данные из свертки. Процедура обучения повторяется, пока ИНС не научится с высокой точностью производить операции прямой и обратной свертки.
2. Обучение на чистом сигнале АЭ (Производится аналогично предыдущему этапу).
3. Выделение векторов, отвечающих за шумовые признаки. Для этого рассчитывалась разница между векторами зашумленного и чистого сигнала после процесса свертки. Полученная разница являлась вектором шума (4) и записывалась в специальную БД (5). Данная процедура повторялась для различных режимов работы машины и комбинаций шум-чистый сигнал с целью выявления различных шумовых составляющих.

После процедуры обучения вариационный автоэнкодер способен выделять чистый сигнал из зашумленного. Для этого из свертки зашумленного сигнала происходит вычитание вектора шума, соответствующего данным режимам работы. Полученная разница представляет собой вектор чистого сигнала, который подвергается процедуре обратной свертки через деконволюционный слой для восстановления сигнала.

Отфильтрованный сигнал АЭ (6) в виде спектрограммы определенной длины поступает на вход сверточной ИНС классификации (7), а выделенные важные параметры, поступают на вход разработанного дерева принятия решений (8). Дополнительная сверточная ИНС классификации была введена для реализации возможности оценки неявных параметров импульсов, плохо подающихся формальным описаниям. При этом спектрограмма сигнала, является функцией времени, что позволяет учитывать последовательность и комбинации различных импульсов. Далее происходит процедура классификации, где выделяются возможные классы сигнала АЭ.

Параллельно происходит аналогичная классификация импульсов ультразвукового сигнала (1) с предварительным выделением важных параметров (9). Полученные классы импульсов с использованием различных моделей, в виде трехмерного вектора поступают на вход рекуррентной ИНС (10).

Данная ИНС обучена предсказывать степень поврежденности металла на основе классов импульсов, поступающих на её вход. Наличие обратных связей в слое ИНС позволяют учитывать динамику изменения поврежденности и текущее состояние металла при прогнозе будущего. Выходом ИНС является одномерный вектор изменяющейся в диапазоне от 0 до 1, что соответствует минимальной и максимальной степени поврежденности. Степень поврежденности установилась в ходе проведенных испытаний.

Апробация предложенного способа оценки поврежденности проводилась на образцах их стали 12X18H10T. В таблице 1 показаны результаты оценки механических характеристик стали 12X18H10T.

Таблица 1

Результаты испытаний на растяжение стали 12X18H10T

Материал	T _{исп} , °C	δ , %	$\sigma_{0,2}$	σ_B
12X18H10T	20	42	208	546
	-20	40	220	580
	-80	38	283	792
	-100	37	292	866

По результатам апробации установлено:

1. С понижением температуры для стали 12X18H10T наблюдается монотонное снижение относительного удлинения и увеличение условного предела текучести и предела прочности, однако механизм разрушения остается вязким.
2. Наиболее важными параметрами для классификации сигналов АЭ являются: суммарный счет импульсов, скорость счета импульсов и энтропия.
3. Наиболее важными параметрами для классификации сигналов УЗ являются скорость распространения и коэффициент затухания продольных и поперечных волн.
4. Прогнозирование поврежденности материала проводилась с погрешностью не более 8% по сравнению с разработанным ранее методом оценки поврежденности на основе ультразвуковых испытаний и прошедшим апробацию на большом круге материалов, в частности на стали 12X18H10T [4].

1. Акустическая эмиссия в экспериментальном материаловедении. / Н.А. Семашко, Б.Н. Марьин и др.; под ред. Н.А. Семашко. – М.: Машиностроение, 2002. – 240 с.
2. Неразрушающий контроль: справочник в 8 томах. Т.3: Ультразвуковой контроль. / под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2006. – 861 с
3. Исследование поврежденности стали 12X18H10T при низких температурах / Хлыбов А.А., Рябов Д.А., Аносов М.С.// В сборнике: Юность и знания - гарантия успеха -2020. Сборник научных трудов 7-й Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах. Отв. редактор А.А. Горохов. 2020. С. 268-273.
4. Акустический метод оценки поврежденности аустенитной стали при термопульсациях / Углов А.Л., Хлыбов А.А., Пичков С.Н., Шишулин Д.Н.// Дефектоскопия. - 2016. - № 2. - С. 3-10.