

продления срока эксплуатации оборудования действующих высокорисковых объектов (энергетика, трубопроводный транспорт, нефтегазохимия и др.), отработавшего проектный срок. В действующих нормативно-технических документах при расчете остаточного ресурса оборудования не учитывается уровень деградации материалов и конструкций в процессе эксплуатации, что существенно снижает достоверность прогноза. Обеспечение безопасной эксплуатации оборудования возможно только на основе получения и анализа объективных инструментальных данных о фактическом состоянии материалов и конструкций.

Механические и электрофизические свойства материалов «закладываются» на уровне структуры и взаимосвязаны. Все изменения в структуре материала в процессе деформирования-разрушения, зарождение и развитие микроповреждений отражаются в соответствующих изменениях электрофизических параметров. Макроповреждения структуры материала – развитые дефекты типа нарушения сплошности материала, также вызывают изменение электрофизических параметров материала. Изменения электрофизических параметров материала могут быть измерены электромагнитными методами и использованы для оценки текущего технического состояния и ресурса оборудования. Механическим критериям предельных нагрузок и деформаций оборудования соответствуют электрофизические критерии предельного состояния, значения которых могут быть определены при доведении модели или натурального образца до предельного состояния.

Электромагнитное устройство диагностики содержит преобразователь, состоящий из обмотки возбуждения и измерительной обмотки [1]. Обмотка возбуждения генерирует переменное электромагнитное поле, которое взаимодействует с электропроводящим объектом контроля. Результирующее электромагнитное поле наводит переменную ЭДС в измерительной обмотке. Параметры этой ЭДС характеризуют электрофизические свойства материала объекта контроля, а через них и механические свойства материала. Таким образом, в системе электромагнитный преобразователь – объект контроля параметры электрических сигналов обмоток связаны через электрофизические и геометрические параметры объекта контроля. Эта связь в операторной форме может быть записана как

$$W(p) = y(p)/x(p), \quad (1)$$

где $W(p)$ называется передаточной функцией объекта контроля;

$y(p)$ – преобразованный по Лапласу сигнал в измерительной обмотке;

$x(p)$ – преобразованный по Лапласу сигнал в обмотке возбуждения.

Величина $W(p)$ зависит только от параметров объекта, поэтому она полностью определяет ее электрофизические и геометрические параметры. Зная передаточную функцию, можно найти переходный процесс $y(t)$ (изменение во времени сигнала в измерительной обмотке) при любом заданном воздействии и определенных начальных условиях. И наоборот, анализируя кривую переходного процесса

можно получить численное выражение передаточной функции. Сопоставление текущей передаточной функции с передаточной функцией объекта в исходном состоянии позволяет оценить уровень деградации его свойств в процессе эксплуатации.

Метод, основанный на анализе передаточной функции, позволяет оценить степень усталостного повреждения путем определения изменения ферритной фазы в аустенитной стали в процессе пластической деформации. Изменение количества ферритной фазы в аустенитных метастабильных материалах обусловлено трансформацией кристаллической гамма-решетки аустенита в альфа- и дельта-феррит под действием циклической нагрузки. Происходящие на микроуровне изменения структуры материала носят аддитивный характер в течение эксплуатации и в результате становятся инициаторами макроразрушения элемента при его нагружении. Моделируя данный процесс локальным нагружением материала вдавливанием шарового индентора, по скорости прироста ферритной фазы в зависимости от величины нагрузки в процессе деформирования можно оценить накопленную усталость элемента в данном месте. Принцип измерения ферритной фазы основан на различии магнитных свойств парамагнитного аустенита и ферромагнитного феррита. Для измерения ферритной фазы при вдавливании используется электромагнитный преобразователь, совмещенный в одном блоке с инденторным узлом [2].

Литература

1 Пат. 2204131 RU, МКИ 7 G 01N 27/90. Электромагнитный преобразователь / И.Р. Кузеев., М.Г. Баширов, Н.М. Захаров, Г.И. Евдокимов, Э.М. Баширова // О. И. П. М. – 2003. - № 13.

2 Абагян А.А., Бакиров М.Б., Камышников О.Г. и др. Опыт продления срока службы энергоблоков с РУ ВВЭР-440 первого поколения / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. - 2003. - № 10. - С. 49 – 56.

Разработка экспериментальной установки для изучения взаимосвязи механических и электрофизических свойств конструкционных сталей при растяжении

Баширова Э.М., Заварихин Д.А., Захаров А.В.
Филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Салавате, Стерлитамакский филиал Академии наук республики Башкортостан

В настоящее время значительное внимание уделяют исследованию взаимосвязи механических и электрофизических свойств конструкционных сталей, подвергнутых значительным, вплоть до разрывных, деформациям. При этом в исследуемых материалах происходит накопление дефектов, которые оказывают существенное влияние на их электрофизические свойства. Эти исследования представляют существенный интерес для специалистов неразрушающего контроля при установлении кор-

реляции между прочностными характеристиками металлов и их электрофизическими свойствами.

Для проведения комплексных исследований механических и электрофизических свойств металлических образцов была разработана экспериментальная измерительная установка. Автоматизация средств и процессов исследования механических и электрофизических свойств материалов является неизбежной из-за большой трудоемкости, малой оперативности и низкой производительности процессов измерений и обработки экспериментальных данных. При ручном управлении процессом испытания материалов достоверность получаемых результатов в значительной мере определяется квалификацией экспериментатора и приспособленностью аппаратуры к калибровке, поверке и перестройке. В большинстве случаев ручные способы требуют чрезмерных затрат времени для получения необходимого объема информации о свойствах испытуемых материалов.

Наиболее перспективны АИК (автоматизированный исследовательский комплекс), содержащие в своем составе персональный компьютер (ПК), и представляющие собой универсальные измерительные комплексы с программируемым управлением процессами испытания, измерения и обработки информации, представлением результатов в заданном виде (таблицы, графики и пр.) и хранением информации [1]. Особенностью АИК является также автоматическая калибровка по внутренним калибрато-

рам (образцовой мере) перед каждым циклом измерения, что позволяет снизить влияние изменяющихся во времени составляющих погрешности измерения, а также исключить погрешности, вносимые оператором при ручном способе управления.

На рисунке 1 изображена структурная схема компьютеризованного исследовательского комплекса на базе серийно выпускаемых машин для испытания на растяжение, сжатие, кручение и усталость.

Для измерения и преобразования усилия в электрический сигнал используются тензометрические динамометры и трансформаторные индукционные датчики углового перемещения 5, которые являются электромеханическим устройством, вырабатывающим постоянное электрическое напряжение, пропорциональное углу поворота стрелки динамометра. Электрическое напряжение с выхода датчика через нормирующий преобразователь 8 и аналого-цифровой преобразователь (АЦП) 7 поступает в ПК 9.

Персональный компьютер ПК, имеет встроенную плату сопряжения TP801 фирмы Tie-Pie, которая содержит цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) и АЦП, анализатор спектра, позволяет записывать переходные процессы. Плата сопряжения имеет полосу пропускания по двум каналам 50 МГц, по одному каналу – 100 МГц, амплитуда сигнала от 100 мВ до 80 В, погрешность измерения 1 %, имеет встроенную систему метрологического обеспечения и обработки результатов измерений.

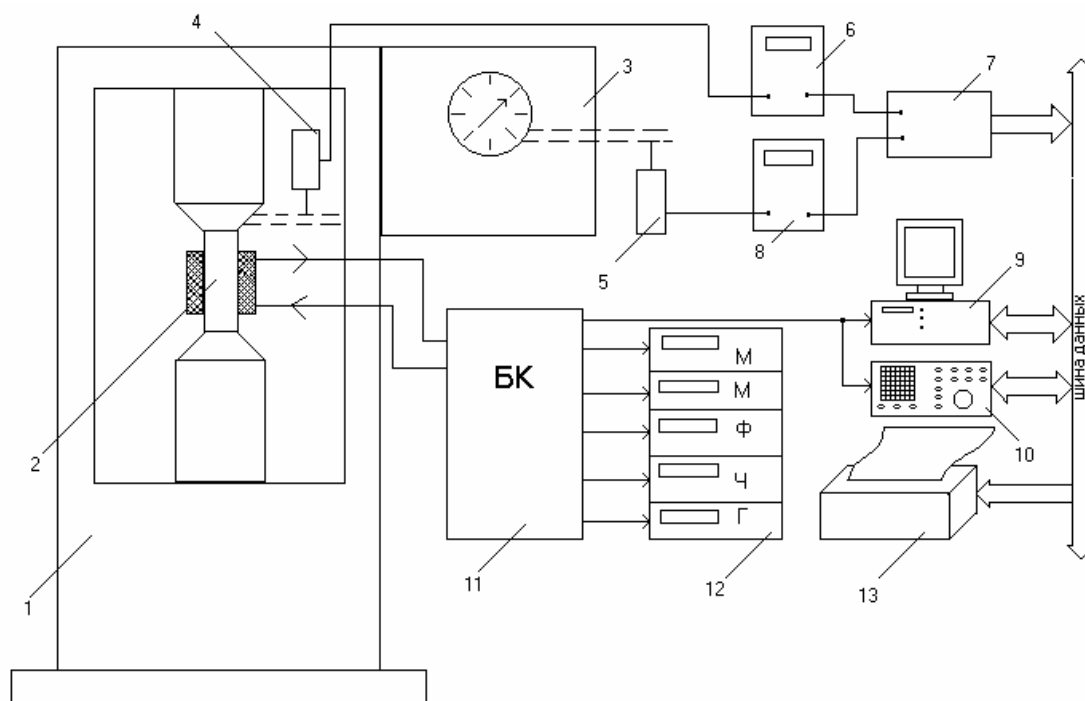


Рисунок 1. - Автоматизированная установка для исследования электрофизических и механических свойств металлов:

1 – испытательная машина; 2 – испытуемый образец с проходным вихрековым преобразователем; 3 – динамометр; 4 – индукционный датчик линейного перемещения; 5 – индукционный датчик углового перемещения; 6,8 – нормирующие преобразователи; 7 – АЦП; 9 – ПК; 10 – осциллограф; 11 – блок коммутации; 12 – блок измерительных приборов (М – мультиметр; Ф – фазометр; Ч – частотомер; Г – генератор); 13 – принтер

Плата TP801 осуществляет связь электромагнитных преобразователей с персональным компьютером. Измерение электрофизических свойств металла образца производится проходными или накладными вихретоковыми преобразователями (ВТП). Для формирования сигнала, поступающего на обмотку возбуждения ВТП, и обработки сигнала, поступающего с измерительной обмотки ВТП, используется программный комплекс SpectraLab фирмы Sound Technology Ins. Программное обеспечение SpectraLab позволяет осуществить генерирование сигнала любой формы в диапазоне $0 \div 40$ кГц, амплитудой $0 \div 2$ В. Осциллограф Epson – 320 позволяет визуально наблюдать и измерять амплитуду и фазу сигналов по двум каналам. Измерение электропроводности осуществлялось также с помощью цифрового электронного моста МЭН-2, имеющего диапазон измерения от 10^{-6} до 190 Ом с погрешностью $(0,5 + 0,25(R_k/R_x - 1)) \%$, где R_k - верхний предел измерения. Блок коммутации позволяет подключать сигнал ВТП к входу образцовых измерительных приборов, т.е. имеется возможность оценить погрешность измерительного комплекса.

Список литературы

1 Коробов А.И., Бражкин Ю.А., Экономов А.Н. Автоматизированная установка для измерения упругих свойств металлических проволок в области упругих и пластических деформаций // Измерительная техника. – 2000. № 9. – С. 48-50.

Проблема оценки технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса оборудования нефтепереработки

Баширова Э.М., Яковлев В.К.

Филиал Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Салавате, Стерлитамакский филиал Академии наук республики Башкортостан

Оценка технического состояния и прогнозирование остаточного ресурса оборудования в настоящее время осуществляются на основе расчета напряженно-деформированного состояния с использованием результатов обследования неразрушающими методами контроля. Для выполнения расчетов необходимо точное знание всех термомеханических режимов эксплуатации или текущей диаграммы нагружения. Проведение стандартных механических испытаний на действующей конструкции невозможно, поэтому расчет напряженно-деформированного состояния для оценки долговечности осуществляется с использованием данных о свойствах материала в исходном состоянии, что не обеспечивает необходимую точность.

Для выявления участков конструкций, наиболее предрасположенных к повреждениям, необходимо знать их фактическое напряженно-деформированное состояние. Для решения этой проблемы могут быть использованы связи между электрофизическими свойствами и определяющими уравнениями твердого тела. Установление этих связей позволяет оце-

нивать текущие механические свойства элементов конструкций по измеренным электромагнитным параметрам, а затем, используя расчетный аппарат механики разрушений, осуществить прогноз долговечности конструкции. В последние годы все большее внимание специалистов привлекают электромагнитные методы и средства неразрушающего контроля. Благодаря своей специфике – электрофизические свойства металлов на уровне кристаллической решетки связаны с механическими свойствами, повреждениями структуры, химическим составом, режимами термообработки, упругими и пластическими деформациями – электромагнитные методы позволяют выявлять не только развитые дефекты, но и зоны концентрации напряжений и элементы конструкций, у которых на уровне структуры металла произошли необратимые изменения. Процессы деформации кристаллической структуры, зарождения и развития дефектов сопровождаются изменением электрофизических свойств металла конструкций. Следовательно, каждая стадия процесса деформирования-разрушения металла оборудования в условиях действия сжимающих и растягивающих усилий, температуры, магнитного поля, может быть охарактеризована совокупностью электрофизических параметров, значения которых могут быть измерены. Таким образом, электромагнитные методы, в отличие от других физических методов неразрушающего контроля, направленных на поиск развитых дефектов, позволяют осуществлять раннюю диагностику, выявляя участки металлических конструкций, наиболее предрасположенных к повреждениям.

Но, несмотря на перечисленные достоинства, электромагнитные методы неразрушающего контроля в задачах диагностики и прогнозирования ресурса оборудования для переработки нефти пока не нашли широкого применения, а используются лишь для контроля отдельных деталей и элементов. Применяемые в настоящее время электромагнитные средства диагностики имеют ряд особенностей, связанных со способами выделения, преобразования и представления диагностической информации, заключенной в изменении электрофизических свойств конструкционных материалов в процессе накопления повреждений, которые делают их малоприменимыми для контроля крупногабаритных конструкций. К этим особенностям относятся: локальность зоны контроля преобразователя, обуславливающая невысокую производительность при сканировании больших поверхностей; контроль производится только в тонком поверхностном слое металла, который находится в нехарактерном для конструкции напряженном состоянии; попытка получения результатов на основании измерения только одного или двух электрофизических параметров металла, которые одновременно зависят от большого числа факторов, поэтому не могут обеспечить высокую достоверность; отсутствие наглядности представления и сложность расшифровки многопараметровой диагностической информации [1, 2, 3].

В настоящее время отсутствуют высокопроизводительные методы и портативные электромагнитные средства неразрушающего контроля, позво-