

УДК 620.178.3+620.179.1

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ СТАЛЕЙ НА РАННИХ СТАДИЯХ УСТАЛОСТНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

© 2011 г.

В.В. Мишакин

Нижегородский филиал Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН

imndt31@mts-nn.ru

Поступила в редакцию 15.06.2011

Представлены результаты исследования методами неразрушающего контроля состояния сталей, подвергаемых усталостному разрушению. По результатам усталостных испытаний предложены алгоритмы оценки поврежденности стали 08X18H10T на основании данных акустических и оптических измерений на ранних стадиях усталостного разрушения.

Ключевые слова: усталостное разрушение, акустические параметры, неразрушающий контроль.

Диагностика состояния материалов элементов конструкций с использованием физических методов исследования является важным направлением в современной технике. Оценка состояния материалов без их разрушения непосредственно на конструкции, учитывая существенную выработку ресурса значительного количества отечественных энергетических установок, является на сегодня особенно актуальной.

Среди методов неразрушающего контроля, достаточно чувствительных к структурному состоянию и поврежденности, можно выделить относительно дешевый и безопасный акустический метод. Его, как правило, используют для выявления дефектов конструкций различной конфигурации и назначения. Однако наиболее перспективные исследования по созданию методов и средств ультразвуковой диагностики относятся не к обнаружению макротрещин, которые фиксируются методами традиционной дефектоскопии, а к выявлению структурных изменений и микроповрежденности задолго до образования макротрещин. Разработки в этом направлении особенно актуальны для исследования конструкций, к которым выдвигаются требования повышенной безопасности, например энергетическим установкам (ЭУ).

ЭУ находятся в процессе эксплуатации под действием разнообразных силовых и температурных воздействий. Характер и уровни этих воздействий определяются в основном условиями эксплуатации. Указанные воздействия создают различные повреждения. Например, для элементов оборудования ядерных ЭУ одними из основных являются усталостные повреждения, к которым относятся [1]:

– малоцикловые (на базах от 10^1 до 10^4 циклов) – от действия больших амплитуд местных механических и температурных деформаций и напряжений, связанных с пусками и остановками энергетических установок, возникновением аварийных ситуаций, гидроиспытаниями с повышенным давлением;

– многоцикловые усталостные (на базах 10^4 – $5 \cdot 10^5$ циклов), обусловленные изменением давления и температур при регулировании мощности установок от 5 до 50%;

– многоцикловые усталостные (на базе 10^7 – 10^{12} циклов), вызванные действием вибрационных напряжений от механических колебаний и гидродинамических усилий, создаваемых потоками теплоносителя.

Накопление отмеченных повреждений приводит к образованию трещин и остаточных деформаций. В общем случае эксплуатационного нагружения имеет место сложное взаимодействие повреждений.

Акустические параметры чувствительны к указанным выше повреждениям. Исследование усталостного разрушения стали 08X18H10T, широко используемой при изготовлении элементов конструкции энергетических установок, в том числе системы трубопроводов, показали существенное изменение акустических параметров этой стали в процессе усталостного нагружения на ранней стадии разрушения до образования макротрещины. Получено, что в процессе исчерпания ресурса материала происходит изменение анизотропии упругих свойств исследуемого сплава, что можно объяснить активным формированием кристаллографической текстуры, накопле-

нием рассеянной микроповрежденности [2] и аллотропическими изменениями (мартенситное превращение $\gamma \rightarrow \epsilon$ [3]). Гамма-железо (γ -железо) превращается в мартенсит ϵ (пересыщенный твердый раствор углерода в альфа-железе (α -железо) в процессе упругопластического циклического нагружения. Исследования также показали чувствительность коэффициентов Пуассона, измеренных с помощью акустического метода, к структурному состоянию материала и накоплению микроповреждений.

На основании выполненных экспериментальных исследований предложен алгоритм оценки степени деградации материала с помощью акустических измерений. На базе оптических и акустических измерений предложен алгоритм определения поврежденности по данным величины микропластических деформаций и изменению коэффициента Пуассона.

Исследования стали 08X18H10T показали, что кривые изменения коэффициента Пуассона в зависимости от относительной накопленной пластической деформации близки при нагружении в области малоциклового усталости и при статических испытаниях. Это позволило предложить ал-

горитм оценки поврежденности материала с использованием данных статических испытаний. Такой подход существенно сокращает время для определения величины поврежденности материала методами неразрушающего контроля.

Автор выражает глубокую благодарность Ф.М. Митенкову за ценные замечания и помощь в проведении исследований по тематике работы.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (гранты №09-08-00892, 09-08-00827).

Список литературы

1. Махутов Н.А. и др. Динамика и прочность водородных энергетических реакторов. М.: Наука, 2004. 440 с.
2. Соснин О.В. и др. Закономерности эволюции дислокационных субструктур в сталях при усталости // Вестник Самарс. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки. 2004. №27. С. 185–192.
3. Митенков Ф.М. и др. Использование оптического и акустического методов контроля для оценки поврежденности сталей на ранних стадиях усталостного разрушения // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2009. №12. С. 40–45.

THE DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DIAGNOSING THE STATE OF STEELS AT THE EARLY STAGES OF FATIGUE DAMAGE OF STRUCTURAL ELEMENTS USING NONDESTRUCTIVE TESTING METHODS

V.V. Mishakin

The results of the investigation of the state of steels subjected to fatigue failure using nondestructive testing methods are presented. In particular, the damage assessment algorithms of 321 steel based on the data of acoustic and optical measurements at the early stages of fatigue failure are proposed.

Keywords: fatigue damage, acoustic parameters, nondestructive testing.