

УДК 620.186.4+620.179.16

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ  
СТАЛЕЙ 08X18H10T И 15ЮТА АКУСТИЧЕСКИМ, ОПТИЧЕСКИМ  
И ВИХРЕТОКОВЫМ МЕТОДАМИ**

© 2011 г.

*А.В. Гончар, В.А. Ключников*

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

imndt@mts-nn.ru

*Поступила в редакцию 15.06.2011*

Представлены результаты исследования акустическим, оптическим и вихретоковым методами контроля сталей 15ЮТА и 08X18H10T, подвергнутых усталостному разрушению. По результатам испытаний получены зависимости акустических параметров от характеристик микропластичности. Проведенные исследования показали существенное изменение акустических параметров, микропластических характеристик и структурных изменений сталей 15ЮТА и 08X18H10T в процессе усталостного нагружения на ранней стадии разрушения до образования макротрещины.

*Ключевые слова:* усталостное разрушение, акустические параметры, характеристики микропластичности, оптический метод, вихретоковый метод.

Оценка состояния материалов без их разрушения непосредственно на конструкции, учитывая существенную выработку ресурса значительным количеством объектов отечественных предприятий машиностроительного комплекса, является актуальной задачей.

Среди методов неразрушающего контроля, достаточно чувствительных к структурному состоянию и поврежденности, можно выделить относительно дешевый и безопасный акустический метод. Как правило, этот метод используют для выявления макродефектов (в том числе усталостных трещин) материалов конструкций различного назначения. Проведенные ранее исследования [1, 2] показали, что структурно-чувствительные акустические параметры позволяют обнаруживать деградацию структуры материала на ранних стадиях разрушения, задолго до образования макротрещины.

Другим методом, позволяющим непосредственно контролировать структурные изменения, является оптический метод, который дает возможность измерять не только характеристики структуры, но и величину микропластических деформаций [3, 4]. Пластическое деформирование происходит только в некоторых областях материала, сравнимых с размерами зерен. Микропластические деформации в начале процесса разрушения, как и поврежденность, локализуются в так называемых «слабых» зонах [4]. При циклическом деформировании происходит накопление одноосной деформации, микроповреждений во всем

объеме материала, изменение кристаллографической текстуры. Изменение структурных характеристик приводит к изменению акустических параметров.

Исследованию связи деформаций на уровне зерна и процесса локализации деформации в виде полос скольжения внутри зерна уделяется недостаточно внимания, хотя процесс локализации и перераспределения деформации на уровне зерна в результате образования пор, трещин в полосах скольжения (ПС) является важным моментом при усталостном разрушении металлов. Установлено, что при циклическом деформировании устойчивые ПС являются главными носителями пластической деформации. Исследования показывают [5], что микротрещины образуются, как правило, в устойчивых ПС.

Для проведения исследований использовались образцы круглого сечения (с диаметром рабочей зоны 12 мм) из стали 08X18H10T. В центре образцов были вырезаны площадки 3×30 мм для установки пьезоэлектрических преобразователей. В центре образцов располагался сварной шов. Образцы подвергались циклическому деформированию с частотой нагружения 3 Гц.

Три плоскопараллельных образца из стали 15ЮТА подвергались симметричному циклическому нагружению по схеме консольного изгиба с частотой 9 Гц. В центре образцов находился концентратор напряжения, где и проводились акустические и оптические исследования.

Испытания выполнялись при нормальных

условиях до появления первой макротрещины. После каждой серии испытаний проводились ультразвуковые и металлографические исследования.

Для измерения акустических параметров использовалась переносная акустическая установка, состоящая из генератора зондирующих сигналов, высокочастотного усилителя, цифрового осциллографа и ПК. Используемый метод – эхоимпульсный. Центральная частота пьезоэлектрических преобразователей ~5 МГц. Диаметр преобразователей для возбуждения продольных и поперечных волн составлял 8 мм. Точность измерения времени распространения упругих волн (УВ) около 2-3 нс, точность измерения скорости 5 м/с. Испытания проводились при комнатной температуре.

Изучение микроструктуры материала проводилось оптическим методом с помощью переносного металлографического комплекса СПЕКТР-МЕТ, позволяющего производить металлографические исследования не только в лабораторных условиях, но и непосредственно на конструкциях. С помощью комплекса СПЕКТР-МЕТ были проведены измерения расстояний между точками пересечения опорной линии с границами зерен. Эти расстояния использовались в дальнейшем для определения значений микропластических деформаций.

В результате ультразвуковых исследований получено, что акустические параметры и упругие характеристики (коэффициенты Пуассона, акустическая анизотропия) интенсивно изменяются в процессе усталостного разрушения.

Для образцов из стали 08X18H10T зависимость изменения акустической анизотропии от количества циклов в зоне термического влияния разделяются для каждой амплитуды деформации. Хорошее разделение кривых способствует идентификации амплитуды нагружения по данным акустических измерений.

В результате металлографических исследований стали 15ЮТА получена немонотонная зависимость изменения скорости распространения (СР) продольных волн от количества циклов нагружения. Такое поведение можно объяснить изменением кристаллической текстуры и накоплением микропор, микротрещин в процессе разрушения материала. Разрыхление материала приводит к уменьшению упругих модулей и СР УВ. Изменение условий формирования текстуры способствует в дальнейшем росту СР УВ.

Оптические исследования стали 08X18H10T показали развитие микропластических деформаций как в зоне основного металла, так и в зоне термического влияния (ЗТВ). Изменения микро-

пластических деформаций в зоне основного металла происходят более интенсивно, чем в ЗТВ. Исследования показали существенную неоднородность структурного состояния материала сварного соединения. Следствием этого является различие в скорости накопления повреждений в ЗТВ и основного материала.

В результате металлографических исследований стали 15ЮТА получено, что концентрация, ширина, длина грубых полос скольжения и величина микропластической деформации растут с количеством циклов нагружения. Как следует из зависимости величины микропластической деформации зерен от среднего значения площади грубых полос скольжения, имеется два характерных участка. Один – квазилинейный – на начальном этапе нагружения. Затем кривые переходят на горизонтальный участок, где влияние полос на деформацию зерен минимально. Можно предположить, что точка пересечения этих кривых соответствует моменту появления микротрещин в полосах скольжения. По всей видимости, появление микротрещин в полосах скольжения препятствует дальнейшему увеличению микропластических деформаций в этих зернах.

При циклическом деформировании происходит интенсивное изменение показаний вихретокового дефектоскопа (ВД) как в зонах основного металла, так и в ЗТВ. Измерения ВД позволяют точно определить границы зоны термического влияния сварного шва, так как его показания чувствительны к структурным изменениям в материале ЗТВ, которые характеризуются не только увеличением диаметра зерна, но и изменением фазового состава и изменением концентрации легирующих элементов в материале.

Проведенные исследования показали, что наиболее прочной является зона шва. В ней при данных нагрузках практически не происходит структурных изменений. Зона термического влияния колеблется для разных сварных образцов от 4 до 7 мм, что связано с технологией сварки.

Проведенные исследования показали существенное изменение акустических параметров, микропластических характеристик и структурных изменений сталей 15ЮТА и 08X18H10T в процессе усталостного нагружения на ранней стадии разрушения до образования макротрещины.

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

#### *Список литературы*

1. Митенков Ф.М. и др. Использование оптического и акустического методов контроля для оценки по-

врежденности сталей на ранних стадиях усталостного разрушения // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2009. №12 С. 40–45.

2. Mishakin V.V., Dixon S., Potter M.G.D. The use of wide band ultrasonic signals to estimate the stress condition of materials // J. Phys. D. 2006. V. 39. P. 4681–4687.

3. Стрельников В.П. Приложение теории марков-

ских процессов к исследованию усталостной долговечности // Проблемы прочности. 1986. №2. С. 13–17.

4. Гурьев А.В., Карпов А.П. Роль микропластических деформаций в формировании частотной зависимости // Проблемы прочности. 1986. №4. С. 24–27.

5. Терентьев В.Ф. Усталость металлических материалов. М.: Наука, 2003. 254 с.

#### INVESTIGATION OF THE FATIGUE FAILURE OF THE 08CR18NI10TI AND 15UTA STEELS BY ACOUSTIC, OPTICAL AND EDDY CURRENT METHODS

*A.V. Gonchar, V.A. Klyusnikov*

The results of the investigation by the acoustic, optical, and eddy current methods of the 08Cr18Ni10Ti and 15UTA steels subjected to fatigue failure are presented. Based on the experimental results, dependencies of acoustic parameters on the characteristics of the microplasticity are obtained. The investigation showed a significant change of acoustic parameters, microplastic characteristics and structural changes in the 15UTA and 08Cr18Ni10Ti steels under fatigue loading at an early stage of fracture up to the formation of a macrocrack.

*Keywords:* fatigue destruction, acoustic parameters, microplastic characteristics, optical method, eddy current method.