

изнашиванию. В качестве износостойких наплавов, наносимых на торец пера лопаток посредством импульсной лазерной наплавки, были выбраны порошковые жаропрочные припои (ВПр24, ВПр11-40Н, ВПр27). Были проведены исследования для подтверждения применимости данной технологии, включающие электронную микроскопию, измерение микротвёрдости и испытания на абразивное изнашивание. Выявлены зависимости и подтверждена возможность использования определённых никелевых порошковых припоев в качестве альтернативы классическим износостойким композитам.

Библиографический список

1. Петрушин Н.В., Елютин Е.С., Назаркин Р.М. [и др.]. Структура и свойства монокристаллов жаропрочного никелевого сплава,

содержащего рений и рутений. // *Металлургия машиностроения*. 2013. № 1. С. 12-18.

2. Пермиловский И.А., Гейченко В.С., Фруман И.И. Восстановление наплавкой турбинных лопаток авиационных двигателей. // *Автоматическая сварка*. 1976. №5. С. 54-56.

3. Сорокин Л.И. Аргодуговая наплавка бандажных полок рабочих лопаток из высокожаропрочных никелевых сплавов. // *Сварочное производство*. 2004. № 7. С. 20-26.

4. Сорокин Л.И., Лукин В.И., Багдасаров Ю.С. Свариваемость жаропрочных никелевых сплавов типа ЖС6. // *Сварочное производство*. 1997. № 6. С. 12-17.

5. Климов В.Г. Сравнение методов восстановления геометрии пера лопаток из жаропрочных сплавов. // *Вестник Московского авиационного института*. 2016. Т. 23, № 1. С. 86-97.

УДК 620.179.16:62-135

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ НАГРУЖЕНИИ

©2016 Е.А. Мотова, Н.Е. Никитина

Институт проблем машиностроения РАН, г. Нижний Новгород

STUDY OF ACOUSTIC ANISOTROPY OF STRUCTURAL MATERIALS UNDER VARIABLE LOADING

Motova E.A., Nikitina N. Ye., Tarasenko Ur. P. (Institute for problems of Mechanical Engineering, Nizhny Novgorod, Russian Federation)

The work present results of nondestructive testing of structural materials. The experimental investigations are based on ultrasonic pulse-echo method. Has been demonstrated opportunities of the nondestructive acoustical method for the studying of the steel structure after cyclic loading.

Введение

Акустические методы неразрушающего контроля получают всё большее распространение для оценки технического состояния конструкционных материалов на различных этапах изготовления, ремонта и эксплуатации [1]. Среди них наибольшее практическое применение находит эхо- импульсный метод [2]. На практике эхо-метод используется для измерения важнейших информативных характеристик ультразвукового контроля, таких как затухание и скорость распространения упругих волн в конструкционных материалах.

Большой информативностью при исследовании технического состояния конст-

рукционных материалов обладают сдвиговые упругие волны. При возникновении напряжений или пластической деформации вдоль некоторого направления скорости сдвиговых волн, поляризованных вдоль и поперек него, будут меняться по-разному. Параметром, характеризующим это различие, является величина акустической анизотропии материала a , которую мы определяли экспериментально по результатам прецизионного измерения времени распространения импульсов сдвиговых волн:

$$a = \frac{V_1 - V_2}{V_{cp}} = \frac{t_2 - t_1}{t_{cp}},$$

где V_1, V_2 - скорости сдвиговых волн; t_1, t_2 -

задержки в материале импульсов упругих волн, бегущих вдоль нормали к его поверхности и поляризованных вдоль и поперек направления нагружения.

В докладе приведены результаты экспериментального исследования поведения параметра акустической анизотропии материала при переменном нагружении образцов из стали 38ХНЗМА и сплава Д16.

Проведение исследований

Ультразвуковые исследования образцов конструкционных материалов выполнены на акустическом стенде для прецизионного измерения временных интервалов [2]. Экспериментальная установка включает как серийные, так и оригинальные блоки, в том числе специально разработанные пьезоэлектрические преобразователи для возбуждения и приёма импульсов волн ультразвуковой частоты с плавной огибающей. Акустические измерения проведены импульсным эхо-методом с использованием преобразователя сдвиговых колебаний с частотой 4 МГц. Параметр акустической анизотропии измерен три раза в пяти точках на каждом образце.

На первом этапе проведено исследование влияния пластической деформации ε образца из стали 38ХНЗМА (ε от 0 до 1,2%) на величину акустической анизотропии материала, где наблюдали его увеличение при росте пластической деформации образца. Далее исследовали влияние малоциклового усталости на акустическое поведение второго стального образца, при симметричном цикле нагружения с амплитудой деформации $\varepsilon_a = 0,5\%$. Акустические измерения проведены до нагружения, затем после $N = 1000, 2000, 3000$ циклов. Найдена немонотонная зависимость параметра акустической анизотропии материала от числа циклов нагружения.

Влияние переменного нагружения с синусоидальным циклом частотой 30 Гц и сравнительно небольшой амплитудой 3 МПа ($\varepsilon_a = 0,004\%$) на акустические характеристики конструкционного материала изучено с использованием двух образцов из сплава Д16. Исследования проведены с целью установления связи между акустическими параметрами и образованием микродефектов в материале, вплоть до его разрушения.

На втором этапе дюралюминиевые образцы № 1 и № 2 были подвергнуты гармоническому нагружению ступенями по 30 000 периодов нагружения. Через каждые 30 000 циклов нагрузки образцы вынимались из испытательной машины, затем проводились акустические измерения в нескольких точках каждого образца, вплоть до его разрушения. Образец № 1 выдержал 190 000 циклов нагружения, а образец № 2 разрушился после 210 000 циклов. Переходным от малоциклового к многоциклового усталости является число циклов $N = 50000 - 100000$ [3], поэтому можно считать, что и в этом случае мы находимся в рамках малоциклового усталости.

Нами обнаружено, что закономерности изменения параметра акустической анизотропии, выявленные при нагружении стальных образцов, сохраняются и для сплава Д16. Если для образца № 2 зависимость параметра акустической анизотропии от числа циклов нагружения идентична найденной для стальных образцов, то у образца № 1 рост указанного параметра начинается после 90 000 циклов и продолжается почти до самого разрушения.

Выводы

Экспериментальные исследования показали, что акустическая диагностика эхо-методом с применением сдвиговых волн мегагерцевого диапазона частот может выявить как момент начала интенсивного трещинообразования (по максимуму найденных зависимостей), так и момент начала разрушения (возникновения макротрещин) (по прекращению уменьшения измеряемого параметра).

Библиографический список

1. Ботаки А.А., Ульянов В.Л., Шарко А.В. Ультразвуковой контроль прочностных свойств конструкционных материалов. - М.: Машиностроение, 1983. 80 с.
2. Мотова Е.А., Никитина Н.Е. О возможности ультразвукового контроля компрессорных лопаток после эксплуатации и ремонта // Вестник СГАУ. 2011. Вып. 3(27). Ч. 2. С. 52-56.
3. Терентьев В.Ф. Усталостная прочность металлов и сплавов. - М.: Интерметинжиниринг, 2002. 287 с.