

УДК 620.179

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛА ПАРОВЫХ ТУРБИН

Н.В. Быкова, аспирант 1 года обучения, И.С. Быков, гр. МШМ-141, I курс

Научный руководитель: А.Н. Смирнов, д.т.н., профессор

Н.В. Абабков, к.т.н., доцент;

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

В настоящее время в России более 80 % (в энергетике более 90 %) промышленного оборудования отработало свой расчетный срок. Разрушения технических устройств или их элементов могут привести и приводят к крупным техногенным катастрофам с человеческими жертвами, поэтому особенно актуальной является задача обеспечения (управления) безопасной эксплуатации потенциально опасного оборудования [1–3]. Металл элементов энергетического оборудования (таких, как роторы паровых турбин) работает в критических условиях: при высоких температурах и при воздействии высоких напряжений, вызванных усилиями самокомпенсации и массовыми нагрузками.

При анализе технического состояния металла турбин используется следующая информация [4]:

- сведения о режиме эксплуатации, повреждениях, заменах отдельных элементов оборудования, восстановительном ремонте, результатах контроля металла в течение всего срока эксплуатации;
- данные неразрушающего контроля;
- результаты исследования структуры и свойств металла;
- результаты анализа расчетной оценки напряженного состояния и остаточного ресурса с учетом фактических данных о свойствах металла и режимах эксплуатации.

Рассмотрим наиболее известные методы неразрушающего контроля, применяемые в настоящее время в промышленных условиях для обнаружения дефектов и повреждений в металле турбин.

В целях выявления различно ориентированных дефектов в теле ротора применяют ультразвуковой контроль (УЗК) объёмными волнами, а для обнаружения дефектов на поверхности осевого канала наиболее эффективен токовой контроль (ТВК), который сочетает в себе ряд преимуществ: бесконтактность, многопараметровость и высокую производительность [5].

Отечественные и зарубежные исследования показали, что один из наиболее перспективных неразрушающих методов эксплуатационной диагностики трещин – метод акустической эмиссии (АЭ) [6, 7].

В основу такого приложения акустико-эмиссионного метода легло предположение о возможности анализа сигналов АЭ, генерируемых дефектами при колебаниях ротора, как спектра вторичных частот, наложенных на резонансную частоту колебаний ротора по собственным формам [8].

Согласно «Рекомендациям по контролю методом оттисков» (М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1969), а также опубликованным в технической литературе статьям, основным методом неразрушающего контроля микроструктуры считается исследование металла при помощи реплик (оттисков). В качестве материала реплик рекомендованы полистирол, рентгеновская пленка и лента для магнитной записи. На поверхность этих материалов наносят соответствующий растворитель – дихлорэтан, бензол или ацетон. После этого материал прижимают к поверхности заранее приготовленного на гилье или роторе шлифа и выдерживают до высыхания растворителя. Готовую реплику отделяют от шлифа и исследуют на стационарном металлографическом микроскопе [9].

Следует отметить непригодность традиционных методов неразрушающего контроля для определения дефектов на раннем этапе их развития, т.е. данные методы не позволяют выявить, так называемое, «преддефектное» состояние металла [10]. Применение существующих методов неразрушающего контроля повреждений и деградации металла при оценке ресурса промышленного оборудования малоэффективно. Поэтому необходим переход от традиционной дефектоскопии к технической диагностике с использованием принципиально новых подходов и методов контроля [10].

На сегодняшний день наиболее перспективными методами эксплуатационной диагностики являются спектрально-акустический метод, магнитошумовой метод и магнитный метод, основанный на измерении коэрцитивной силы [11, 12]. Остановимся на указанных методах более подробно.

Измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) «АСТРОН» (рис. 1) предназначен для оценки физико-механических характеристик и напряженно-деформированного состояния материала ответственных элементов различных технических объектов. Измеряемые этим методом характеристики, такие как время задержки поверхностных акустических волн, чувствительны к изменениям структуры длительно работающего металла и зарождению микроповреждений, а также имеют связь с механическими свойствами материалов.

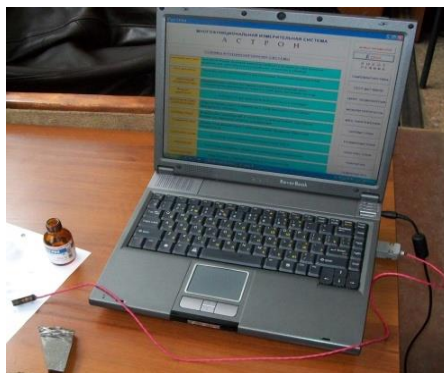


Рис. 1. Внешний вид ИВК «АСТРОН»

В основу работы аппаратной части системы положен способ подробной регистрации всей серии отраженных акустических импульсов для ее последующей обработки средствами программной части системы. Для передачи первичной акустической информации в обрабатывающую часть системы производится последовательное преобразование осциллограммы отраженных импульсов с определенным шагом дискретизации с момента зондирования исследуемого материала и до прихода n -го отраженного импульса. С комплексом «АСТРОН» широко используются преобразователи поверхностных волн, представляющие собой выполненные в одном корпусе излучатель и приемник (рис. 2).

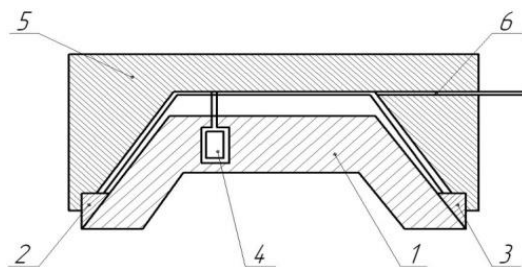


Рис. 2. Малогабаритный релеевский датчик:

1 – двусторонний клин из оргстекла; 2 – излучатель релеевских волн; 3 – приемник релеевских волн; 4 – излучатель-приемник термоимпульсов; 5 – корпус; 6 – высокочастотный кабель

Магнитошумовой метод основан на измерении величины интенсивности магнитного шума. Принцип действия, применяемого при этом методе анализатора напряжений и структуры металлов основан на эффекте Баркгаузена – возникновении скачков намагниченности при перемагничивании ферромагнитного материала. Характеристики этих шумов непосредственно связаны со структурой материала и его состоянием [12]. Анализатор осуществляет перемагничивание испытуемого материала и регистрацию интенсивности возникающего при этом магнитного шума (рис. 3, 4).



Рис. 3. Внешний вид анализатора

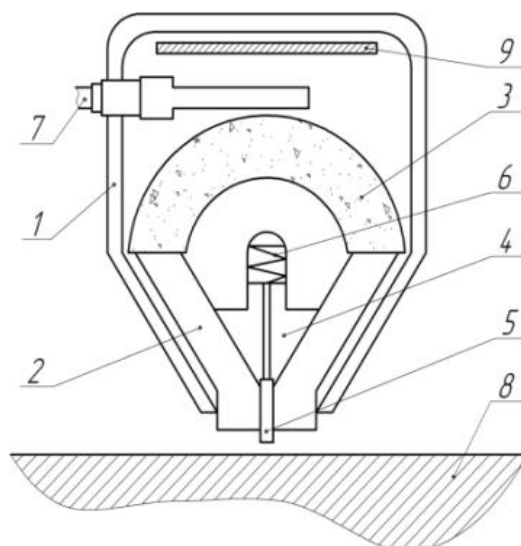


Рис. 4. Схема преобразователя (датчика) интенсивности магнитного шума:
1 – корпус; 2 – магнитопровод; 3 – обмотка; 4 – направляющая; 5 – измерительный преобразователь; 6 – пружина; 7 – провод; 8 – изделие; 9 – малошумящий усилитель

Для измерения магнитной характеристики (коэрцитивной силы) используется структуроскоп КРМ-Ц-К2М (рис. 5), основанный на измерении коэрцитивной силы по измеряемому току компенсации остаточной магнитной индукции в замкнутой магнитной цепи, составленной из магнитопровода, преобразователя (рис. 6) и стандартного образца или контролируемого изделия. Результаты измерений по беспроводной связи передаются в карманный персональный компьютер (КПК), который позволяет получать, обрабатывать и анализировать результаты измерений на объекте исследования в режиме “on-line”. Такой подход позволяет в процессе контроля обратить внимание на детали, нуждающиеся в особо тщательной проверке [13].



Рис. 5. Внешний вид магнитного структуроскопа КРМ-Ц-К2М:
1 – структуроскоп; 2 – преобразователь; 3 – карманный персональный компьютер

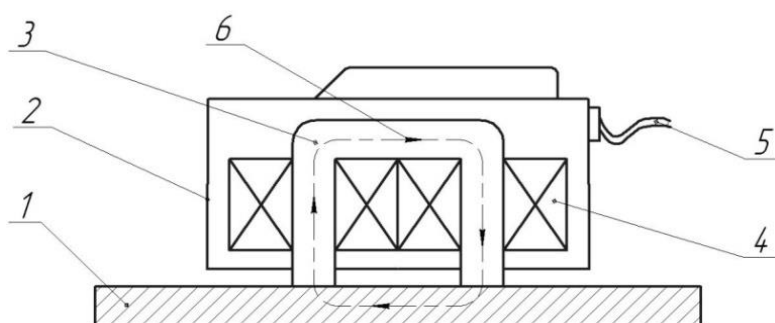


Рис. 6. Схема преобразователя:

1 – контролируемое изделие; 2 – корпус; 3 – сердечник; 4 – катушка; 5 – магнитопровод; 6 – направление тока компенсации остаточной магнитной индукции

Выводы

1. Традиционные методы неразрушающего контроля металла роторов паровых турбин непригодны для определения дефектов на раннем этапе их развития. Во многих случаях более опасным (особенно на стареющем оборудовании) является «преддефектное» состояние металла, когда в его структуре произошли необратимые изменения, и повреждение из-за усталости может возникнуть внезапно и, чаще всего, в тех зонах, где оно не ожидается. Уровень чувствительности традиционных методов неразрушающего контроля не позволяет выявить такое «преддефектное» состояние металла.
2. Необходим переход от традиционной дефектоскопии к технической диагностике металла роторов паровых турбин с использованием принципиально новых подходов и методов контроля. В настоящее время наиболее перспективными методами технической диагностики являются спектрально-акустический метод, магнитошумовой метод и магнитный метод.

Список литературы

1. Смирнов, А. Н. Комплексный подход к оценке работоспособности элементов энергетического оборудования / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков // Известия Самарского научного центра РАН, 2010. – Т. 12. – №1 (2). – С. 520–524.
2. Смирнов, А. Н. Микроструктура, поля внутренних напряжений и акустические характеристики металла разрушенного ротора паровой турбины / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков, Э. В. Козлов и др. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2014. – Т. 57. № 10. – С. 67–71.
3. Смирнов, А. Н. Анализ повреждаемости роторов паровых турбин (обзор) / А. Н. Смирнов, Н. В. Быкова, Н. В. Абабков и др. // Вестник КузГТУ, 2014, № 2. – С. 38–47.
4. Резинских, В. Ф. Надежность и безопасность ТЭС России на современном этапе: проблемы и перспективные задачи / В. Ф. Резинских, Е. А. Гринь // Теплоэнергетика. – 2010. – № 1. – С. 31–37.

5. Пчелкин, А. Б. Анализ систем диагностики роторов паровых турбин в России и Европейском союзе / А. Б. Пчелкин, А. А. Любимов // Энергетик. – 2013. – № 12. – С. 26–28.

6. Нагорных, С. Н. Излучение АЭ распространяющейся трещиной при усталости металлов / С. Н. Нагорных, Г. Ф. Сарафанов // В кн.: Тезисы докладов I Всесоюзной научно-технической конференции «Неразрушающие физические методы контроля». – Свердловск, 1990, Т. 2.

7. Acoustic Emission – Beyond the MILLENIUM (15th International Acoustic Emission Symposium) / Edited by Kishi T., Ohtsu M., Yuyama S. Oxford: Elsevier Science, 2000.

8. Резинских, В. Ф. Методика неразрушающего контроля роторов среднего и низкого давления турбин ТЭС без снятия насадных дисков при ремонте оборудования / В. Ф. Резинских, В. А. Лукьяненко, В. А. Саркисян // Электрические станции. – 2013. – № 8. – С. 44–50.

9. Артамонов, В. В. Совершенствование методов диагностики металла теплоэнергетического оборудования / В. В. Артамонов, В. П. Артамонов // Энергетик. – 2000. – №7. – С. 37–38.

10. Дубов, А. А. Проблемы оценки остаточного ресурса стареющего оборудования / А. А. Дубов // Теплоэнергетика. – 2003. – № 11. – С. 54–57.

11. Абабков, Н. В. Диагностика, повреждаемость и ремонт барабанов котлов высокого давления / Абабков Н. В., Кашубский Н. И., Князьков В. Л., Князьков А. Ф., Козлов Э. В., Конева Н. А., Макаров Н. М., Муравьев В. В., Попова Н. А., Смирнов А. Н., Фольмер С. В. – М.: Машиностроение. – 2011. – 256 с.

12. Смирнов, А. Н. Применение магнитошумового метода контроля для оценки качества наплавленного металла/А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков//сб. науч. тр. Всероссийской конференции с международным участием «Жизненный цикл конструкционных материалов», ИрГТУ. – Иркутск, 2011. – С. 194–198.

13. Абабков, Н. В. Оценка состояния наплавленного металла барабана котла высокого давления по коэрцитивной силе металла / Н. В. Абабков, А. Н. Смирнов, А. И. Копытов, А. А. Трубин // Вестник КузГТУ. 2011. № 2. – С. 57–60.