

Н.Н. Защепкина, д.т.н., проф.
К.М. Божко, ст. преподаватель
С.М. Кущевой, аспирант
С.Ю. Сидоренко, аспирант

Национальный технический университет Украины «КПИ имени Игоря Сикорского»

КОНТРОЛЬ ПОВЕРХНОСТИ РАЗРУШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ В КОРОННОМ РАЗРЯДЕ

Приведены результаты исследования контроля поверхности металлических деталей машин методом газоразрядной визуализации. В качестве объекта исследований выбран фрагмент разрушенного вала. Для наблюдения газового разряда над поверхностью разрушения разработан и смонтирован лабораторный стенд. Выполнен телевизионный контроль поверхности в коронном разряде и сделаны фотоснимки, что позволило визуализировать устойчивое свечение при нарушении коронного разряда в местах поверхности с наиболее неравномерным рельефом.

После обработки изображений была получена карта крупнейших неоднородностей рельефа поверхности разрушения в графическом редакторе PaintNet_v3.1 с использованием опций обращения цветов, увеличения яркости и контраста. В результате дальнейшего анализа поверхности разрушения были выделены направления разрыва в виде линий, что позволило сделать вывод о том, что разрушительная сила была приложена перпендикулярно линиям разрыва.

Таким образом, на основании изображений поверхности разрушения можно судить о возможных причинах катастрофы и вносить необходимые коррективы в конструкцию деталей и режимы эксплуатации механизмов.

Ключевые слова: газоразрядная визуализация; стенд; поверхность разрушения; контроль; неоднородность рельефа; разрушительная сила.

Постановка проблемы в общем виде. Одним из действенных методов неразрушающего контроля является газоразрядная визуализация (ГРВ) дефектов поверхности проводящих тел. Известно, что при напряженности электрического поля примерно в 10 кВ/см в воздушном промежутке между электродами возникает коронный разряд. Если поверхность электрода имеет игольчатые фрагменты, то именно над ними и будет наблюдаться свечение. Одной из разновидностей коронного разряда является барьерный разряд, когда электроды разделяют диэлектрической пластиной. При наличии барьера напряжение поджига разряда снижается и может составлять 2–3 кВ.

Широкое распространение получил метод возбуждения импульсного разряда с отрицательной короной, которая возникает в случае, когда исследуемый объект соединяют с катодом и он находится под нулевым потенциалом, а на анод периодически подают высоковольтные импульсы.

Конструкции газоразрядных устройств (ГРУ) позволяют наблюдать коронный разряд во фронтальной плоскости, однако для этого необходимо верхний электрод (анод) выполнять прозрачным. Для решения этой задачи применяют сеточную конструкцию, а также жидкий прозрачный электрод на основе электролита.

Анализ последних исследований и публикаций. Усталость детали в условиях воздействия нагрузки приводит к ее разрушению. Такой вид разрушения называют усталостным [10].

В последние годы повысился интерес к исследованиям, направленным на диагностику усталости деталей машин и конструкций, а также поиску технологий торможения процесса развития в них усталостных процессов и продления эксплуатационного ресурса [1–11].

Известно, что усталостные трещины в детали сначала появляются в переходной области, которая расположена вблизи поверхности. Затем трещины развиваются вглубь детали и образуют острые надрезы до тех пор, пока действующие в сечении напряжения не разорвут деталь [6]. Хотя теория механизма разрушения хорошо разработана [3], однако, на наш взгляд, для создания совершенной картины с получением новых экспериментальных данных и выполнением коррекции теоретических моделей необходимы новые подходы, основанные на применении нетрадиционных методов и средств контроля поверхности разрушения.

В связи с этим, нами предложена газоразрядная визуализация для определения линий разлома при разрушении нагруженных деталей, прежде всего валов.

Опубликованные в последнее время работы украинских ученых посвящены изучению процесса разрушения валов, в частности, вала шасси самолета АН-124 «Руслан» [1], а также процессу развития усталости, например, вала паровой турбины [11].

Формулирование цели статьи. Нами поставлена задача разработки конструкции ГРУ с фронтальным контролем поверхности на основе проводящего стеклянного электрода, а также применение данного ГРУ в контроле деталей машин.

Изложение основного материала. Известны попытки внедрить в технологию производства кремниевых пластин контроль дефектов, возбуждаемым коронным разрядом, в устройстве с жидким верхним электродом [4]. Однако это крайне неудобный метод, требующий специального стендового оборудования, который, к тому же, может обеспечить контроль исключительно в плоскости, параллельной земной поверхности.

Для наблюдения газового разряда над поверхностью разрушения был разработан и смонтирован лабораторный стенд, состоящий из ГРУ, объектива, телевизионной камеры, персонального компьютера, видеоадаптера с телевизионным входом, двух блоков питания и генератора импульсов (рис. 1). Первоначально стенд использовали для контроля дефектов кремниевых солнечных пластин [8].

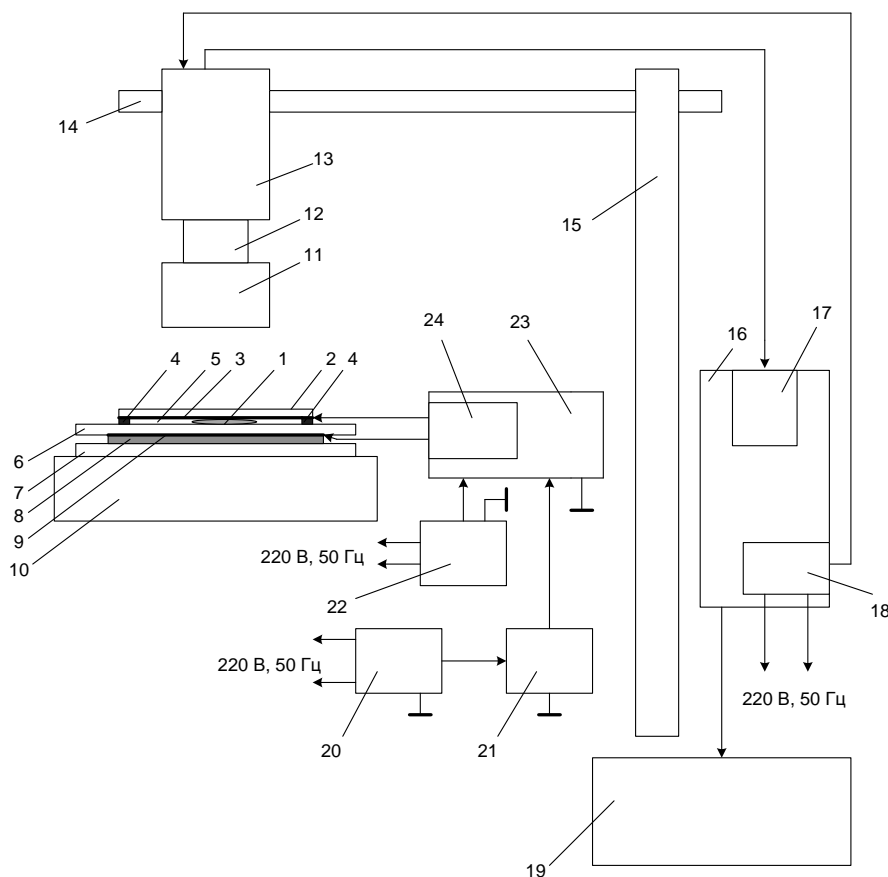


Рис. 1. Структурная схема лабораторного стенда ГРУ: 1 – исследуемый объект; 2, 3 – стекло с напыленным прозрачным электродом (анод); 4 – контактные шины; 5 – воздушный зазор; 6 – барьер из стеклянной пластины; 7 – изолирующая пластина; 8, 9 – медная фольга на текстолите (катод); 10 – предметный столик; 11 – объектив; 12 – оптические кольца; 13 – телевизионная камера; 14 – балка; 15 – стойка; 16 – персональный компьютер; 17 – видеоадаптер; 18 – блок питания АТХ; 19 – монитор; 20, 22 – лабораторный источник питания; 21 – генератор задающих импульсов; 23 – формирователь высоковольтных импульсов; 24 – выходной трансформатор

Стенд предназначен для лабораторных исследований. В настоящее время нами ведутся разработки мобильного варианта, когда измерительный прибор можно будет поднести к поверхности объекта в месте его постоянной эксплуатации.

Для контроля поверхности металлических деталей машин методом ГРВ [7] нами был выбран в числе прочих объектов фрагмент разрушенного вала (рис. 2).

Помимо телевизионного контроля поверхности в коронном разряде были выполнены также снимки фотоаппаратом. При возбуждении коронного разряда в местах поверхности с наиболее неравномерным рельефом (игольчатый ландшафт) наблюдали устойчивое свечение (рис. 3).



Рис. 2. Оборванный вал машины для литья пластмасс под давлением: белый контур обозначает область контроля поверхности разрушения в коронном разряде

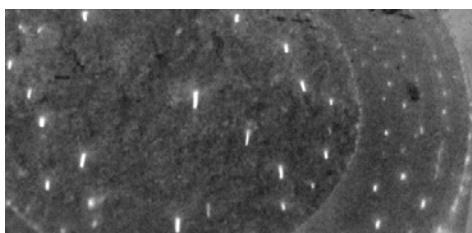


Рис. 3. Исходное изображение коронного разряда в центре поверхности разрушенного вала

После обработки изображения (рис. 3) в графическом редакторе PaintNet_v3.1 с использованием опций обращения цветов, увеличения яркости и контраста была получена карта наибольших неоднородностей рельефа поверхности разрушения (рис. 4).

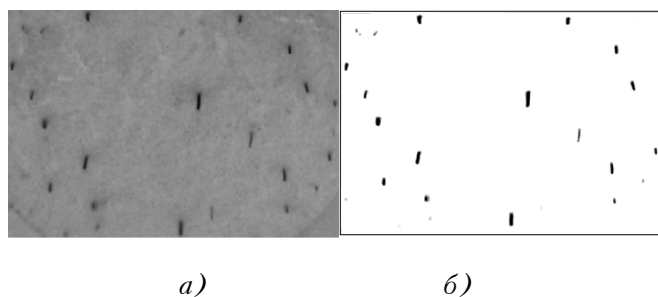


Рис. 4. Часть преобразованного исходного изображения поверхности вала в коронном разряде: а) первый этап обработки – обращение цветов; б) выделение неоднородностей рельефа

При дальнейшем анализе поверхности разрушения были выделены направления разрыва в виде линий (рис. 5).

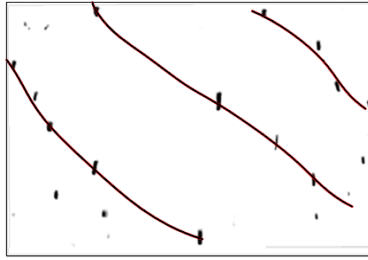


Рис. 5. Выделение линий разлома на рельефе разрушенной поверхности: направление разрушающей силы перпендикулярно к выделенным линиям

Можно предположить, что разрушающая сила была приложена перпендикулярно линиям разрыва. Таким образом, на основании изображения поверхности разрушения можно судить о возможных причинах катастрофы и вносить необходимые коррективы в конструкцию детали и режимы эксплуатации механизмов.

Вывод. На основании проведенных экспериментальных исследований на разработанной конструкции ГРУ с фронтальным контролем поверхности на основе проводящего стеклянного электрода был проведен контроль и анализ причин возможных поломок деталей машин, что позволит вносить необходимые коррективы в конструкцию деталей и режимы эксплуатации машин.

Список использованной литературы:

1. *Бычков А.С.* Основные виды и причины разрушения стальных деталей и агрегатов отечественных воздушных судов транспортной категории / *А.С. Бычков, А.Г. Моляр* // Вісник «ХАІ». – № 1. – 2016. – С. 47–61.
2. Восстановление и упрочнение деталей / *В.А. Горохов, П.А. Витязь, В.П. Иванов* и др. ; под общ. ред. *Ф.И. Пантелеенко*. – М. : Наука и технологии, 2013. – 368 с.
3. *Джонсон К.* Механика контактного взаимодействия / *К.Джонсон*. – М. : Мир. – 510 с.
4. *Добровольский Ю.Г.* Использование эффекта Кирлиан для контроля качества полупроводниковых пластин / *Ю.Г. Добровольский* // ТКЭА. – 1999. – № 5–6. – С. 22–24.
5. *Иванов В.П.* Механизм разрушения валов с покрытиями, работающими в условиях циклического нагружения / *В.П. Иванов, Т.В. Вигерина* // Техника в сельском хозяйстве. – 2010. – № 6. – С. 15–17.
6. *Порєв В.А.* Збудження імпульсного коронного розряду в повітрі для візуалізації дефектів / *В.А. Порєв, К.М. Божко, С.Ю. Сидоренко* // Вісник Хмельницького нац. уні-ту. – № 6 (231). – 2015. – С. 224–230.
7. *Порєв В.А.* Збудження коронного розряду для телевізійного контролю дефектів кристалічного кремнію / *В.А. Порєв, К.М. Божко, С.Ю. Сидоренко* // Technology audit and production reserves. – № 1. – 2016. – С. 28–31.
8. *Кастрюк А.П.* Ресурсосбережение и качество ремонта агрегатов машин с восстановлением их деталей : научное издание / *А.П. Кастрюк, Т.В. Вигерина*. – Новополюцк : ПГУ, 2012. – 199 с.
9. *Иванов В.П.* Совершенствование ремонтного производства. Концепции, методы, процессы / *В.П. Иванов, А.П. Кастрюк*. – LAPLAMBERT Academic Publishing : Saarbrücken, Deutschland, 2013. – 220 с.
10. *Троценко, В.Т.* Сопротивление усталости металлов и сплавов. Ч. 1 / *В.Т. Троценко, Л.А. Сосновский*. – К. : Наук. думка, 1987. – 602 с.
11. Расчетное и экспериментальное исследование многоциклового усталости вала паровой турбины мощностью 200 МВт вследствие его крутильных колебаний / *О.Ю. Черноусенко* и др. // Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. – № 3. – 2010. – С. 19–24.

References:

1. Bychkov, A.S. and Molyar, A.G. (2016), "Principal and the causes of the destruction of steel parts and assemblies for domestic aircraft transport category", *Vestnik HAI*, No. 1, pp. 47–61.
2. Gorokhov, V.A., Vityaz', P.A., Ivanov, V.P., Ivashko, V.S., Kastruyuk, A.P., Konstantinov, V.M., Lyalyakin, V.P. and Panteleenko, F.I. (2013), *Restoration and hardening of parts*, in Panteleenko, F.I. (Ed.), Science and technology, Moscow, 368 p.
3. Dzhonson, K. (1989), *Mechanics of contact interaction*, Mir, Moscow, 510 p.
4. Dobrovolsky, Yu.G. (1999), "The Use of Kirlian effect for quality control of semiconductor wafers", *TKEA*, No. 5–6, pp. 22–24.
5. Ivanov, V.P. and Vigerina, T.V. (2010), "The Mechanism of destruction of shafts with coatings working under cyclic loading", *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*, No. 6, pp. 15–17.
6. Porev, V.A., Bozhko, K.M. and Sidorenko, S.Y. (2015), "Initiation of pulsed corona discharge in the air to visualize defects", *Visnyk Hmel'nyc'kogo nacional'nogo universytetu*, No. 6 (231), pp. 224–230.
7. Porev, V.A., Bozhko, K.M. and Sidorenko, S.Y. (2016), "Excitation of a corona discharge for the television inspection of crystalline silicon", *Technology audit and production reserves*, No. 1, pp. 28–31.
8. Kastruyuk, A.P. and Vigerina, T.V. (2012), *Resource conservation and quality of repair of units of cars with restoration of their parts*, PGU, Novopolotsk, 199 p.
9. Ivanov, V.P. and Castryck, A.P. (2013), *Improvement of repair facilities. Concepts, methods, and processes*, LAPLAMBERT Academic Publishing, Saarbrucken, Deutschland, 220 p.
10. Troshchenko, V.T. and Sosnovskiy, L.A. (1987), *Fatigue of metals and alloys*, Vol.1, Naukova dumka, Kyiv, 602 p.
11. Chernousenko, E.Yu. (2010), "Estimated and experimental study of high cycle fatigue of the shaft of a steam turbine 200 MW due to torsional vibrations", *Energeticheskie i teplotekhnicheskie protsessy i oborudovanie*, No. 3, pp.19–24.

ЗАЩЕПКИНА Наталия Николаевна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры научных, аналитических, экологических приборов и систем Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского».

Научные интересы:

- проектирование свойств материалов;
- контроль качества материалов и изделий;
- проектирование оборудования для производства изделий;
- проектирование и модернизация приборов для контроля качества изделий.

Тел.: +380505109228.

E-mail: nanic1604@gmail.com.

БОЖКО Константин Михайлович – старший преподаватель кафедры научных, аналитических, экологических приборов и систем Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского».

Научные интересы:

- контроль дефектов фотоэлектрических солнечных батарей и объектов из проводящих материалов.

Тел.: +380505109228.

E-mail: bozhkonew@mail.ru.

КУЩЕВОЙ Сергей Михайлович – аспирант кафедры научных, аналитических, экологических приборов и систем Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского».

Научные интересы:

- телевизионные информационно-измерительные системы.

Тел.: +044-204-85-03.

СИДОРЕНКО Сергей Юрьевич – аспирант кафедры научных, аналитических, экологических приборов и систем Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского».

Научные интересы:

- газоразрядная визуализация дефектов.

Тел.: +044-204-85-03.

Статья поступила в редакцию 07.09.2016